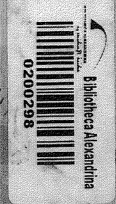
تغطية مساحية للطرق

الدكتور

يوسف مصطفى صيام

بن محمد القرني

الدكتور سعد بن عبد الرحمن القاضي









تغطية مساحية
للطرق



تغطية مساحية للطرق

تأليف

الدكتور يوسف مصطفى صيام

أستاذ المساحة - قسم الهندسة المدنية

جامعة الملك سعود - الجامعة الأردنية

الدكتور عبد الله بن محمد القرني

أستاذ المساحة المشارك - قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

الدكتور سعد بن عبد الرحمن القاضي

أستاذ النقل المشارك - قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

مجدلاوي

الطبعة الأولى

١٤٢٠ هـ - ١٩٩٩ م

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

(١٠٨٥/ ٦/ ١٩٩٩)

رقم التصنيف : ٦٢٥,٧

المؤلف ومن هو في حكمه : **يوسف مصطفى صيام وزملاؤه**

عنوان الكتاب : **تغطية مساحية للطرق**

الموضوع الرئيسي : **١- العلوم التطبيقية**

٢- هندسة الطرق

بيانات النشر : **عمان / دار مجدلاوي للنشر**

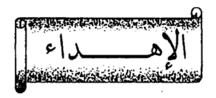
* - تم اعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

مجدلاوي

عمان - الرمز البريدي: ١١١١٨ - الأردن

ص.ب: ١٨٤٢٥٧ - تلفاكس: ٤٦١١٦٠٦

ISBN 9957-02-027-7 (ردمك)



إلى

مدير عام "المؤسسة العالمية لصناعة وتجارة قطع الغيار"

ابراهيم صيام

لدعمه المستمر لشئون التأليف والبحث العلمي



شكر وتقدير

يتقدم المؤلفون بوافر الشكر والعرفان إلى جامعة الملك سعود - مركز البحوث - كلية الهندسة التي منحتنا الدعم المناسب لطباعة هذا الكتاب في صورته الأولية .

المؤلفون

محتويات الكتاب

الموضوع | الصفحة

الفصل الأول

الفصل الثاني

الفصل الثالث

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

الفصل السابع

الفصل الثامن

الفصل التاسع

الفصل العاشر

الفصل الحادي عشر

الفصل الثاني عشر

الفصل الثالث عشر

الفصل الرابع عشر

الفصل الخامس عشر

الفصل السادس عشر



تمهيد

يهدف المؤلفون من خلال هذا الكتاب إلى المساهمة في إغناء المكتبة العربية بواحد من المراجع الهامة في مواضيع المساحة المتعلقة بشئون هندسة الطرق بشكل خاص وبشئون مشاريع المسارات المشابهة الأخرى من خطوط سكك حديدية وأقنية وقوى .. الخ بشكل عام . يشتمل الكتاب على ثلاثة عشر موضوعاً مساحياً رئيساً تناقش مختلف الأعمال المساحية اللازمة لمراحل التخطيط والتصميم والتنفيذ للمشاريع آنفة الذكر، وهذه الفصول هي :

- الاعتبارات الأساسية في دراسة مشاريع الطرق .
- المراحل المساحية الرئيسة في تصميم الطرق .
- الفرق الهندسية الرئيسة العاملة في مشاريع الطرق .
- أجهزة المساحة الإلكترونية .
- شبكات الضبط أو التحكم .
- الأعمال المساحية الخاصة بالتسوية المثلثية .
- أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية .
- حساب مساحات المقاطع العرضية والطولية .
- حساب الحجوم .
- المنحنيات الأفقية .
- المنحنيات الرأسية .
- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم .
- غرس أوتاد الميل .
- شئون المقاييس والدقة في مشاريع الطرق .

حرص المؤلفون على إبراز الجوانب العملية دون إغفال للجانب النظري مع ما يلزم من تطبيقات ورسومات وتمارين كي تعين في تحقيق الغايات المرجوة من حيث الفهم

والقـدرة على التطبيق بثقة وجدارة . والأمـل كبـير في أن يجـد الأكـاديميون والبـاحثون والمخططون ومهندسوا المساحة والمهندسون والمدنيون والمساحون في هـذا الكتاب قدراً كبيراً من *محتويات بعـض المقررات الجامعية ذات العـلاقـة ومـا يعـين علـى تنفيـذ المتطلبـات المساحية المختلفة للعديد من المشـاريع الهندسـية تخطيطـاً وتصميماً وتنفيذاً* .

لقـد اشتمل الكتاب على حوالي ستمائة معلم توضيحي ، ما بين شكـل ومثـال وجدول ومسألة ، وكذلك تم الاستناد إلى أكثر من خمسين مرجعاً بهدف تحقـيق أكـبر قدر ممكن من الفائدة .

كذلك يذكر المؤلفون القارىء العزيز أن بعض الفصول الواردة في هذا الكتـاب ، وبخاصة السابع والثامن والحادي عشر والثاني عشر ، ماهي إلا تنقيح وتحديث وإغنـاء وترتيب لبعض ما ورد في كتابي " أصول في المساحة " و" مساحة المسارات " لمؤلفهمـا د. يوسف صيام .

ولا يفوت المؤلفون التنويه بفضل كل الأساتذة الأفاضل الذين كـانت مؤلفـاتهم ودراساتهم وبحوثهم مراجع أساسية هامة في إعداد هذا الكتاب ، فلكـل هـؤلاء عظيم الإجلال والتقدير آملين المعذرة عن كل خطأ في الطباعة أو سهو في التوثيق . كما أنه لمن دواعي الغبطة والامتنان أن يساهم القارىء العزيز بالتذكير بأي خطـأ في الطباعـة أو الإبداء بملاحظات تساعد في رفع مستوى التأليف بلغتنا العربية الخالدة خلـود القـرآن الكريم . ولا شـك أن القارىء سيجد في ثنايا الكتاب العديد من الأخطاء ، المطبعية منها بشكل غـالب ، ولا غرابة في ذلك مع الأسف الشديد فالأخوة الزملاء ممن ألفوا كتبـاً علميةباللغة العربية قد ذاقوا بكل تأكيد مرارة وقسوة كثرة الأخطاء المطبعية وانخفـاض مستوى الإخراج وذلك نظراً لأن صناعة الكتاب العلمي العربي لم ترق بعد الى المسـتوى المأمول .

والله ، الواحد الأحد ، نسأل أن يجعل في هذا الكتاب النفع الكبير لكل قارىء له أنه سميع مجيب .

المؤلفون

- 1 -

الفصل الأول

مقدمة

INTRODUCTION



1-1 نبذة تاريخية عن الطرق :

لا يُعرف تاريخ محدد لمولد الطرق، ولكن مع توطن البشر واستئناسهم للحيوانات قبل نحو 9000 عام كانت المسارات التي سلكها الناس بحيواناتهم هي أول طـــرق سـير عرفتها البشرية، وقد أخذ مسار المشاة والحيوانات مساراً متعرجاً ليخدم الملكيات الخاصة المتناثرة.وهذا أدى إلى نظام طرق متعرجة وذات منحنيات حادة وميول شديدة في بعـض أجزائه .

ويعود تاريخ الطرق الحديثة إلى اليوم الذي اخترع فيه الإنسان العجلة في حـوالي 5000 ق.م. ، حيثّ عرف الإنسان أول طريق مرصوف بالأحجار في عـام 3500 ق.م. في بلاد ما بين الرافدين. وقام المصريون في حوالي 3000 ق.م. بإنشاء طريق يصل النيـل بالأهرامات ليسهل نقل الصخور المعدة لبناء الأهرامات . ثم أتى البابليون وبنـوا شبكـة مهمة من الطرق تصل العاصمة بالمناطق، وكانوا أول من استخدم الأسفلت (القار) كمادة من مواد إنشاء الطرق. إلا أن الفضل ينسب إلى الرومان في وضع أسس إنشـاء الطـرق حوالي عام 400 ق.م. فقد أنشأوا شبكة ضخمة من الطرق تتكون من 29 طريقاً رئيسياً يصل مجموع أطوالها إلى 80 ألف كلم، والتي أنشئت لأغراض عسكرية حيـث كـانت تنطلق على شكل طرق شعاعية من عاصمتهم روما إلى جميع أنحاء الإمبراطورية الرومانية ، ومازالت أجزاء منها قائمة حتى اليوم .

فالرومان أسسوا التقنية الحديثة لإنشاء الطرق التي كانت في الغالب مسـتقيمة في معظم أجزائها لتقريب المسافات، حتى أنهم يرتقون بالطرق تلاً بدلاً من الالتفاف حولـه ويبتعدون عن الوديان التي تغمرها السيول. وقد اعتمدوا في إنشاء تلك الطرق على تقنية العصر آنذاك وهي فرش مسار الطريق بطبقات من الصخور الثقيلة لتشكل الأسـاس، ثم رصف هذه المسارات بطبقة من الأحجار المسطحة، واستعمال عجينة جيرية للعمل علـى تماسك الحجارة مع بعضها البعض . كما عرف المهندسون الرومانيون جـدوى انحـدار الطرق الطفيف من المنتصف إلى الجانبين لتصريف المياه (cross slope). وأقاموا المجـاري على جانبي الطريق لتحمل المياه بعيداً .

ولم يكن آنذاك آلات دقيقة من آلات المساحة لتحديد اتجاه الطريق، بل كان الرومان يستعملون الدخان فكانوا يرون النار والدخان عن بعد ويوجهونها بحيث تكون الطرق على استقامة واحدة ، كما كانوا يستخدمون النجوم للغرض نفسه .

وبعد أفول شمس الإمبراطورية الرومانية (400م) تدهورت حالة الطرق وتوقفت صناعتها بعد دخول أوروبا في العصور المظلمة، ولم تعد صناعة الطرق إلا في نهاية القرن الثامن عشر الميلادي حينما قام المهندس الفرنسي ترساغوت بتطوير طريقة لإنشاء الطرق باستخدام الأحجار المكسرة كقاعدة للطريق مغطاة بأحجار أصغر، وكان ذلك هو الأساس الذي مكن الفرنسيين في عهد نابليون من إنشاء نظام طرق وطني للأغراض العسكرية .

وفي نفس الوقت تقريباً تطور إنشاء الطرق في إنجلترا، حيث قام كل من المهندسين تلفورد و ماكآدم من تطوير أساليب مشابهة لإنشاء الطرق، حيث استخدم تلفورد أحجاراً كبيرة كقاعدة للطريق وغطاها بأحجار أصغر كسطح للطريق، أما ماكآدام فاستخدم أحجاراً صغيرة لكامل أجزاء الطريق، وهذا النوع لازال مستخدماً إلى اليوم في إنشاء الطريق ويحمل اسمه .

ومع بداية القرن التاسع عشر الميلادي، أنشئت آلاف الكيلومترات من الطرق الجيدة التي أخذت في اعتبارها تصريف المياه والتأسيس على أرضية صلبة، كما أن اختراع الإطارات المطاطية بدلاً من المعدنية من قبل دنلوب (1888م) ساعد على تغطية أسطح الطرق بالأسفلت (مع بداية القرن العشرين) مما زاد من مستوى الراحة والسرعة وتقليل الآثار البيئية من ضوضاء وأتربة متطايرة . كما أن اختراع محرك الاحتراق الداخلي بواسطة العالمين بنز ودملر (1886م) أدخل ثورة في عالم الطرق والدخول في عصر السيارات الذي نعيشه اليوم .

1 - 2 شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية :

شهدت شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية تطورات وقفزات ملموسة منذ تأسيس المملكة وتوحيدها، وذلك استجابة للتطورات الاقتصادية والاجتماعية قبل الخطط التنموية للدولة وخلالها. فقد كان مجموع أطوال الطرق في عام 1372هـ لا يزيد عن 239 كلم، ثم وصل إجمالي الطرق المسفلتة قبل بداية خطة التنمية الأولى عام 1390هـ إلى حوالي 8500 كلم بالإضافة إلى 3500 كلم من الطرق الزراعية الممهدة (الترابية). ثم بلغت في نهاية خطة التنمية الرابعة (1410هـ) حوالي 37 ألف كلم من الطرق المسفلتة بالإضافة إلى حوالي 77 ألف كلم من الطرق الزراعية الممهدة. وقد واصلت تلك الأرقام صعودها إلى أن بلغت في عام 1418هـ أكثر من 44 ألف كلم من الطرق السريعة والمزدوجة والمفردة، كما قارب مجموع أطوال الطرق الزراعية الممهدة مائة ألف كلم. وبلغ مجموع أطوال الطرق السريعة والمزدوجة فقط حوالي 7000 كلم صممت ونفذت وفق أحدث مواصفات الطرق السريعة في العالم ، حيث تتكون من اتجاهين يفصلهما جزيرة وسطية، وفي كل اتجاه عدد من المسارب يتراوح بين 2-6 مسارب، كما زودت هذه الطرق بسياج معدني في الوسط وعلى جانبيها، وزودت أيضاً بالجسور والتقاطعات الطولية، وكافة وسائل السلامة .

وقد بلغت التكاليف الإجمالية لإنشاء شبكة الطرق في المملكة ما يربو عن 132 بليون ريال سعودي . وقد صاحب إنشاء الطرق برامج صيانة لها وبكفاءة عالية لتأمين السلامة المرورية لمستخدميها وللحفاظ على هذه الاستثمارات الضخمة، حيث بلغ إجمالي ماتم صرفه على صيانة الطرق منذ 1390هـ ما يربو عن 14 بليون ريال سعودي.

ويجدر الإشارة إلى أن كبر مساحة المملكة وتنوع تضاريسها قد أوجد تحديات لإنشاء الطرق التي تخترق الكثبان الرملية في الصحاري (مثل الربع الخالي والدهناء والنفود) وتلك التي تربط أعالي الجبال بالسهول. فعلى سبيل المثال، تمتد سلسلة جبال السروات بالمنطقة الجنوبية الغربية من المملكة لمسافة 500 كلم وبارتفاع يصل إلى 1500م، مما شكل

عائقاً طبيعياً للاتصال بين المراكز السكانية الكثيفة فوق الجبال وتلك المنتشرة في السهول والوديان. وقد تم التغلب على ذلك بإنشاء طرق مسفلتة وجسور وأنفاق تمر عبر الوديان وتخترق الجبال الشاهقة وهي ما تسمى بالعقبات، وتم حتى الآن تنفيذ أربع عقبات بأساليب هندسية بالغة التطور، وتم فتح هذه العقبات أمام حركة النقل والمرور وهي عقبة شعار وعقبة الجوة وعقبة الباحة وعقبة ضلع. ومع فتح هذه العقبات توفرت سبل الانتقال من المراكز السكانية والقرى على قمم الجبال إلى سهول تهامة وبالعكس في وقت قصير لايتجاوز الساعة الواحدة، بينما كانت هذه الرحلة تستغرق في السابق يوماً كاملاً على الأقل .

1 - 3 أهمية الطرق في مجالات التنمية الحيوية :

تمثل الطرق العمود الفقري للبلاد والذي تتمحور حوله وحدة البلاد ونموها وتطورها. ومثل الطرق بالنسبة للدول كمثل الشرايين للإنسان، فعبر الشرايين يتدفق الدم حاملاً الغذاء للجسم في حين أن الطرق تتدفق عبرها المنتوجات الوطنية والسلع المستوردة والمصدرة وتجارة الترانزيت والمسافرين وكل مقومات التطوير والنمو وكل ما من شأنه أن يجلب للبلاد التقدم والرقي والترابط بين السكان. ولاشك بأن وجود شبكة متطورة من الطرق في الدولة يمكنها من تحقيق أهدافها وسياساتها الأمنية والاستراتيجية والعسكرية والإقتصادية والثقافية والإجتماعية والسياسية.

فالطرق تلعب دوراً مهماً في حركة البضائع والسلع، فالبضاعة تعتبر عديمة القيمة مالم يكن لها منفعة، بمعنى قدرتها على تلبية حاجات المستهلك، ونقلها في هذه الحالة يضفي نوعين من المنفعة هما المنفعة المكانية والمنفعة الزمانية، وهذان المصطلحان الإقتصاديان يعنيان أن السلعة ليس لها قيمة اقتصادية حية إلا إذا كانت متوفرة في المكان والزمان المطلوبين.

ولتقدير الدور الذي تلعبه الطرق في تطور التنمية من اللازم تخيل الحياة قبل اختراع الطريق والعجلة، أو بمعنى آخر قبل ردم الفجوة بين المنتجين والمستهلكين. وبالتالي

تبادل السلع المختلفة. وفي المجال الصناعي يلعب النقل على الطرق دوراً حيوياً بربط موارد المواد الخام ومراكز الإنتاج والأسواق .

أما داخل المدن على وجه الخصوص، فإن الطرق توفر حلقة الوصل بين المنزل ومقر العمل، والواقع أن أكثر من 50٪ من الرحلات داخل المدن هي رحلات تتعلق بالعمل.

كما تلعب الطرق دوراً هاماً في الدفاع عن البلاد ووحدتها السياسية، وعادة ما تنشيء الدول شبكة متكاملة من الطرق الاستراتيجية التي تربط أجزاء البلاد، والتي أنشئت لأغراض دفاعية واستراتيجية، وليس بناء على احتياجات النقل للمجتمع فقط .

وتعد الطرق من الخدمات التي تقدمها الحكومة بالضرورة والتي لا يستطيع القطاع الخاص تقديمها،ومن أهم أغراض إنشاء الطرق رفع مستوى اقتصاديات الدولة كلها عن طريق النقل المباشر للبضائع والمساعدة في المشكلات المتعلقة بالدفاع الوطني، ولتسهيل إمداد المجتمع المحلي بالخدمات المختلفة مثل الشرطة والدفاع المدني والرعاية الطبية والتعليم وخدمات البريد، ولفتح مجالات إضافية للسفر والترفيه. هذا ومن الطبيعي أن يستفيد ملاك الأراضي من الطرق لأن تسهيل الوصول إلى الأراضي سيزيد من قيمتها بلا شك .

لذا فالطرق عنصر ضروري للمجتمع في جميع مجالات التنمية الحيوية، فهي تؤثر على مواقع الأنشطة الإنتاجية والترفيهية وانتشارها، وتؤثر على مواقع المساكن، وعلى انتشار البضائع والخدمات المتوفرة للاستهلاك . فالتقدم في الطرق عمل على تغيير نمط الحياة ورفع مستوى للمعيشة وساهم بذلك في تطور ونمو المجتمعات .

1 - 4 مستقبل شبكات الطرق :

بالرغم من أن شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية تكاد تتجه نحو التكامل والنضج، إلا أن عملية إنشاء الطرق في البلاد لا يمكن أن تتوقف عند هذا الحد، بل أنها في تزايد مستمر مع تزايد احتياجات التنمية الاقتصادية والاجتماعية المواكبة لها.وإذا كانت

المرحلة السابقة من مد وتجهيز شبكة الطرق في المملكة قد تميزت بأنها تمت في معظمها في ظل ظروف الطفرات الاقتصادية المتزامنة معها آنذاك؛ فإن المرحلة القادمة –وفي ضوء استقراء التوجهات الاقتصادية المحلية والعالمية – سوف تتم في ظل ظروف اقتصادية مختلفة تستلزم أن تكون قرارات تصميم الطرق وإنشائها مبنية على مزيد من الأسس العلمية السليمة . ومن أهم الأسس في هذا المجال الأسس الهندسية التي تهتم بتصميم أجزاء الطريق وعناصره ومساره بما يتناسب مع الطلب على النقل وحركة السير المتوقعة .

ومازال التقدم التقني الذي بدأ في عصر الطرق الحديثة مستمرا حتى اليوم. ولقد امتدت المعرفة إلى مجالات التربة والمواد المستخدمة في إنشاء الطرق مما جعل تصميم الطرق الآن أكثر كفاءة وأقل تكلفة. كما ظهرت علوم جديدة تماما في مجالات تخطيط الطرق والتصميم الهندسي والإنشائي لها ، وكذلك في التحكم في المرور عليها. ومن المرجح أن المشكلة الأساسية التي تواجه المهتمين بصناعة الطرق هي تحديد الدور الذي يجب أن تقوم به الطرق ووسائل النقل الأخرى في المدن. فكثير من النقد الآن يوجه إلى وجود السيارة وما أدى إليه من مشكلات متعددة، مثل نزوح سكان المدن إلى الضواحي واختناقات المرور وتردي أحوال وسط المدينة وتلوث الهواء والضوضاء وغير ذلك، مما يؤكد الحاجة الملحة للبحث عن حلول جديدة .

وقد ظهر مؤخرا نتيجة لذلك ما كان يعرف باسم "نظم الطريق الذكي والمركبة الذكية" في الثمانينيات الميلادية، والتي تسمى الآن باسم" نظم النقل الذكية" والتي توظف التقنيات الحديثة في الإلكترونيات والاتصالات والحاسبات في مجال النقل للرفع من سلامته وكفاءته . ولازالت هذه النظم في مراحل ولادتها، وهي تركز بشكل خاص على النقل على الطرق.

وما يعنينا هنا هو ما يعرف باسم "الطرق الآلية" الذي يهدف للتحكم الكامل بحركة المركبات عليه فور دخولها، مما يخلي السائقين من مسؤولية القيادة، فحالما يحدد سائق المركبة مقصده، تقوم نظم حاسبات قديرة بالتحكم بجميع حركات المركبات على الطريق الآلي مما يساعد على زيادة سعة الطريق ومستوى السلامة عليه. والطريق الآلي

ليس حلماً، إذ تقوم الولايات المتحدة الأمريكية حالياً بتطويره ورصدت له ما يزيد عـــن 300 مليون دولار أمريكي .

وبرنامج الطرق الآلية برنامج طموح يشبهه البعض ببرنامج الهبوط علـــى ســطح القمر الذي تحقق في الستينيات من هذا القرن، ولكنه أكثر تعقيداً إذ أنه يتطلب التحكـــم بعشرات الملايين من المركبات مما يقود إلى الاعتقاد بأن نجاحه الكامل غير مضمون حـــتى على المدى البعيد .

وتقنيات النقل الذكية لها حدودها، بمعنى أنه بالرغم من أهميتها فإنها لا يمكن بـــأي حال من الأحوال أن تحل محل الحاجة للتوسع الطبيعي في إنشاء الطرق وبنيتها التحتيـــــة. والتمدد في شبكة الطرق يعطي نتائج أفضل بكثير من حيث الســـعة وتحســـين الحركـــة المرورية عليها مما قد تعطيه نظم النقل الذكية .

1 - 5 التخطيط السليم للطرق ونفقات الصيانة المستقبلية :

هناك علاقة وثيقة بين أساليب التصميم والإنشاء للطرق وبين تكاليف الصيانة لها. فعلى سبيل المثال، نجد أن وضع طبقات الأساس بسمك غير كاف أو الإهمال في إنشـــائها يترتب عليه سرعة ظهور التشققات في سطح الرصف وما تستلزمه من ترقيـــع وإصـــلاح الطبقة السطحية. ونجد أيضاً أن اللجوء إلى مسارب للمرور الضيقة في أثناء التصميم يؤثـــر تأثيراً بالغ الضرر على أكتاف الطريق خاصة عندما تضطر مركبات النقل الثقيلة للســـير فوقها بمجموعة من عجلاتها بعد خروجها من حدود الرصف.ونجد أيضاً أن عدم العنايـــة بتصميم وسائل تصريف المياه قد يعني تآكل جوانب الطريق،أو ترسيب المواد مما يتطلـــب عمليات التنظيف والتصحيح المكلفة ، كما أن اللجوء إلى مجاري الصـــرف ذات الميـــول الحادة تتطلب الصيانة اليدوية الباهظة التكاليف إذا ما قورنـــت بالصيانة الآلية التي لايمكن القيام بها إلا في حالة الميول البسيطة قليلة الانحدار .

أما في المناطق التي تتساقط فيها الثلوج أو تهب فيها العواصف المحملـــة بالرمـــال، فنجد أن التخطيط السيء للطريق والجسور المنخفضة أو قطاعات الحفر الضيقة التي لاتدع

مجالاً لتخزين الجليد أو الرمال المجتمعة تخلق مشاكل عديدة لإزالتها. وفي الكثير من الأحيان، نجد أن ارتفاع تكاليف الصيانة الناتجة عن التخطيط السيء أو الإنشاء الرديء يؤدي إلى ضرورة إعادة إنشاء الطريق .

وعموماً ، تتفاوت التكاليف الثلاث الرئيسية للطرق – التكاليف الرأسمالية للإنشاء وتكاليف الصيانة وتكاليف المراقبة والضبط المروري – مع تفاوت مستويات الحركة المرورية وتركيباتها من الأنواع المختلفة من المركبات.فإذا كانت الحركة المرورية المتوقعة على الطريق الجديد حركة خفيفة ومكونة بشكل أساسي من سيارات الركاب الصغيرة، فإنه يمكن تصميم الطريق بشكل مختلف عن تصميمه في حالة كون الحركة المرورية مكونة من شاحنات ثقيلة .

وتقدر التكاليف الإضافية لزيادة سماكة الرصف وزيادة عرض رصف الطريق لاستيعاب الشاحنات بحوالي ٪50 من التكاليف الإجمالية لرصف الطريق. كما يقدر أن حوالي ٪ 40 من تكاليف إنشاء الجسور تعود لتصميمها للاستخدام من قبل الشاحنات. وكذلك يقدر أن تكاليف تسوية الطرق وتصريف المياه تزداد بحوالي ٪20 بسبب أخذ الشاحنات الثقيلة في اعتبارات التصميم .

وعادة، لا تصمم جميع الطرق وتنشأ لاستيعاب الأحمال الثقيلة، بل أن الطرق المنشأة للحركة المرورية الثقيلة لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من مجموع أطوال شبكات الطرق، بالرغم من أنها تمثل جزءاً كبيراً من تكاليف الإنشاء. كما يقدر أن ما بين ٪ 40 و ٪90 من تكاليف صيانة وإصلاح الطرق تعود لتأثير الشاحنات وحدها (الاختلاف في النسبتين يعود لاختلاف طرق حسابها).لذا ينبغي توخي الحذر في تقدير حجم المرور المتوقع ونسبة الشاحنات المتوقعة على الطريق المنوي إنشاؤه للخروج بتصميم متوازن غير مبالغ فيه .

1 - 6 التخطيط السليم للطرق وتحقيق شروط السلامة المرورية وراحة المسافرين :

عند تصميم الطرق الجديدة، يجب توجيه اهتمام خاص بالسلامة كمعيار أساسي للتصميم. ويقصد بمعايير التصميم القرارات الاستراتيجية المتعلقة بالمواصفات الهندسية التي ينشأ على أساسها الطريق. وعادة ما تتخذ مثل هذه القرارات في مرحلة التخطيط والتي غالبا ما تتأثر أساسا باعتبارات السعة والكفاءة الاقتصادية،ولكن يجب أيضا اعتبار عامل السلامة .

لذا ينبغي أن يكون تعظيم مستوى السلامة المرورية على الطريق هو الهدف الأولي للتصميم في جميع الحالات. ولقد تطورت جميع مواصفات ومعايير التصميم، بلا استثناء، على أساس اعتبارات السلامة بالدرجة الأولى. وينبغي أن يلم المصمم بتأثير البدائل التصميمية على مستوى السلامة. وتتفاوت هذه التأثيرات بدرجة كبيرة مع نوع الطريق وظروف أحجام الحركة المرورية والخصائص الهندسية للطريق.

ونلخص فيما يلي أهم شروط واعتبارات السلامة في تصميم الطرق .

1 - التحكم بالدخول إلى والخروج من الطريق : التحكم الكامل في الدخول والخروج هو المساهم الأكبر في تحقيق سلامة الطرق من بين الخصائص التصميمية الأخرى. وتزيد معدلات الحوادث لأنواع الطرق الأخرى بمعدل من مرتين إلى ثلاثة أضعاف معدلاتها في الطرق الحرة (السريعة) المحكومة المداخل والمخارج بالكامل .

2 - القطاع العرضي: تساهم جودة تصميم للمسارب والأكتاف وجانبي الطريق جميعها في تحقيق السلامة، فمثلا تزداد معدلات الحوادث بشكل ملموس في الطرق الضيقة للمسارب والأكتاف.وقد أجريت عدة دراسات لتأثير عوامل مثل عرض المسرب وعرض ونوع أرضية كتف الطريق والميول العرضية لرصف الطريق على السلامة المرورية، تم بموجبها وضع معايير ومواصفات قياسية لتصميم الطرق تحقق أكبر قدر من السلامة لمرتاديها .

3 – التخطيط الأفقي والرأسي : تعد المنحنيات الأفقية العامل الرئيسي المؤثر على سرعة المركبة على الطرق، لذا يجب تصميم المنحنيات الأفقية بحيث يمكن للسائق تجاوزها بسلام. كما تؤثر المنحنيات الرأسية والميول الطولية على السلامة. وتبلغ معدلات الحوادث على المنحنيات حوالي ثلاث مرات معدلاتها على أجزاء الطرق المستقيمة .

4 – مسافة الرؤية: لابد لمصمم الطريق ضمان أن السائق يستطيع السير على الطريق بأمان بالسرعة الملائمة للطريق وذلك بتوفير مسافة رؤية أمامية كافية، خصوصا عند المنحنيات الرأسية والأفقية .

5 – التقاطعات السطحية: وهي نقاط معرضة لتضارب الحركات عندها بشكل طبيعي، لذا يجب تصميمها بشكل يقلل من التعارضات في الحركة باستخدام وسائل التحكم المرورية المناسبة .

6 – اعتبارات أخرى مثل احتياطات السلامة عند أعمدة الجسور وعند عبارات السيول، وإضافة مسارب إضافية للتجاوز في الطرق المفردة خصوصا في الميول الحادة، وكذلك توفير مسارب خاصة كمنحدرات لإيقاف الشاحنات التي فقد سائقوها السيطرة عليها في الميول الحادة .

وقد أخذ في الاعتبار أيضا عند وضع مواصفات تصميم الطرق الجوانب المتعلقة براحة الركاب والمسافرين، مثل المنحنيات الانتقالية في التخطيط الأفقي للطريق والتي تستخدم للإنتقال من الأجزاء المستقيمة إلى الأجزاء المنحنية من الطريق وبالعكس بسلاسة لا يشعر معها الركاب بالانحناء . وكذلك استخدام التعلية الجانبية في المنحنيات الأفقية للحد من تأثير القوة الطاردة المركزية على المركبة وركابها .

1 - 7 دور المساحة في أعمال تخطيط وتصميم الطرق :

تستند أعمال التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق العامة وما شابهها إلى قدر هـائل من المعلومات . وبقدر ما تكون هذه المعلومات شاملة ودقيقة بقدر ما تساهم في تحقيـق تصوّر حقيقي وحساب دقيق مما يؤدي بالتالي إلى تخطيط أفضل وتصميم أكثر تجاوباً مـع الأهداف المراد تحقيقها . ومما لاشك فيه أنه في غياب هذه المعلومات سيكون التخطيـط عشوائياً والنتائج سلبية والخسارة فادحة . وخلال العقود الثلاثة الماضية طرأت تغـيرات هائلة على أجهزة المساحة وطرق القياس عليها وبرامج الحواسيب ومعالجـة المعلومـات المشتقة بواسطتها . كما ازداد الإقبال على استخدام وسائل المساحة الجويـة ومعلومـات الأقمار الاصطناعية والاستشعار عن بعد وأجهزة قياس المسافات الإلكترونيـة وتقنيـات الليزر بالنظر لما توفره هذه المصادر والوسائل من إمكانات جبارة في استنباط قدر هائل من المعلومات بسرعة ودقة فائقتين تتلاءم تماماً مع متطلبات التخطيط والتصميـم والتنفيـذ والصيانة لمشاريع المسارات المختلفة . تتناول هذه المعلومات بالضرورة أعمـال المسح الموقعي والطبوغرافي لشريط أرضي على طول المسار المقترح ، بشكل أولي، وذلك لبيـان تضاريسه وتحديد كل ما يقع ضمنه وحوله كأساس لدراسة المشـروع ورسـم المسـار المناسب ووضع التصاميم التي تنطبق على واقعه وتؤدي إلى تحديد كميات الأعمال الترابية ومواقع الجسور والعبارات وغيرها من عناصر المشروع الأساسية بشكل اقتصادي وفعّال.

جدير بالذكر أنه وبالنظر لوفرة ودقة وسرعة استنباط المعلومات لم تعـد عمليـة المفاضلة بين مسار وآخر في مشاريع الطرق والمسارات الأخرى (سكك حديدية وخطوط قوى وقنوات وخطوط أنابيب ... الخ) مقتصرة بشكل أساسي على بند الأعمال الترابية فحسب وإنما اتجه المخططون والمصممون إلى عوامل مفاضلـة أخـرى تغطـي شئـون الهيدرولوجيا والجيولوجيا والتربة والسياحة ومتطلبات السلامة العامة وقابليـة التطويـر للأراضي المحاذية واستعمالات الأراضي وتوفر مواد الإنشاء وعوامل الطقس ومشكـلات التلوث الناشئة عن الضجيج واحتراق وقود العربات وشئون أخرى كثيرة .

1 - 8 عرض موجز لبرامج التخطيط والدراسات الحديثة لمشاريع الطرق :

أدى التطور السريع في البرامج والحزم الحاسوبية في السنوات الأخيرة إلى إدخال تحولات جذرية في عملية تصميم الطرق، فلا داعي الآن لإجراء الحسابات الطويلة والمتكررة بالأسلوب اليدوي، وبدلا من ذلك فتوفر الأجهزة الحاسوبية الصغيرة الحجم والعالية السرعة، بالإضافة إلى البرامج والحزم الحاسوبية المعقدة والتي تشمل الرسم باستخدام الحاسب، إمكانية دراسة عدد كبير من خيارات التصميم وإجراء الحسابات التصميمية اللازمة في زمن قصير وبموثوقية أعلى .

وفي الواقع ، فقد كان تخطيط الطرق أحد التطبيقات المبكرة للتصميم بمساعدة الحاسب في مجالات الهندسة المدنية، وذلك نظرا لأن تحديد تخطيط الطريق يتطلب عددا ضخما من الحسابات المتكررة من أجل تثبيت التخطيط الهندسي للطريق وتحديد نقاط كافية للتمكن من تحديد الطريق على الطبيعة .

واليوم ، تقوم معظم الجهات الحكومية والشركات الاستشارية المعنية بتصميم الطرق بتوظيف برامج الحاسب للمساعدة في ذلك . وتستخدم هذه البرامج مع برامج الرسم بالحاسب لإعداد مخططات مشاريع الطرق. والشائع أن يتم تشغيل برامج التصميم مع برامج الرسم في وقت واحد بحيث تستدعي برامج التصميم برامج الرسم عند الحاجة لإعداد الرسومات .

وتبدأ عملية تصميم الطرق باستخدام الحاسب بملف للطبوغرافية، وإذا ما كان النموذج الأرضي الرقمي متوفرا، فإنه يستخدم لإنشاء خارطة كنتورية لاستخدامها كخارطة الأساس. ويمكن إضافة الخصائص الأخرى، مثل المنشآت القائمة، إلى خارطة الأساس باستخدام برنامج للرسم .

وحالما تكتمل خارطة الأساس، يبدأ المهندس بتصميم الطريق وذلك بتعريف التخطيط الأفقي والرأسي، إذ يتم البدء بالتخطيط الأفقي أولا، وبناء عليه فإن برنامج التصميم سيعرض المناسيب الحالية على طول محور الطريق أو أي خط مرجعي أساسي

آخر. ويمكن أن يحتوي المشروع الواحد على عدة تخطيطات أفقية ورأسية؛ مثلا يمكن تصميم الطريق المقسوم بجزيرة وسطية واسعة بشكل مختلف لكل اتجاه. وعند القيام بعملية التخطيط، يمكن تحديد النقاط الهامة (مثل نقاط التقاطع) إما من خلال إحداثياتها أو المحطات أو الارتفاعات (في حالة التخطيط الرأسي). كما يوفر برنامج التصميم عادة القيام بعمليات تحديد محطات التخطيط آليا، ورسم الخصائص القياسية مثل المنحنيات الأفقية الدائرية والمنحنيات الانتقالية والمنحنيات الرأسية بطريقة آلية .

كما يقوم المهندس أيضا بتعريف رسومات قياسية تصنف القطاع العرضي للطريق من حيث خصائصه الهندسية وشكل خندق تصريف المياه الجانبي والأعمال الترابية للميول الجانبية. ويمكن تحديد عدد من الرسومات القياسية لذلك يستخدمها برنامج التصميم لحساب التحولات بين هذه القطاعات العرضية المتتابعة . وفي حالة المنحنيات الأفقية التي لها تعلية جانبية، فيقوم البرنامج بتعديل الرسومات القياسية للمقاطع العرضية لأخذ التعلية الجانبية في الحسبان .

وحالما يتم تعريف التخطيط الأفقي والرأسي والرسومات القياسية للمقاطع العرضية، يقوم البرنامج بإنشاء تمثيل رياضي ثلاثي الأبعاد للطريق منها. وهذا يتيح للمهندس الحصول على مناظر ثلاثية الأبعاد للطريق، يمكن تدويرها وتكبيرها لإنتاج رسومات ثلاثية الأبعاد للطريق من أي زاوية نظر . كما يقوم البرنامج أيضا بحساب المقاطع العرضية للأعمال الترابية من خلال النموذج الأرضي الرقمي وإجراء حسابات حجوم الأعمال الترابية آليا .

وتشمل فوائد استخدام برامج الحاسب لتصميم الطرق ما يلي :

1 - توفير القدرة على إعادة التصميم بسرعة، وعلى وجه الخصوص فإن حجوم وكميات الأعمال الترابية للتخطيط الجديد يمكن حسابها بسرعة فائقة. وهذه فائدة عظيمة لأن حسابات حجوم الأعمال الترابية باليد عملية مرهقة جدا. وهذه الميزة تتيح للمهندس تحري ودراسة العديد من البدائل التصميمية .

2 - توفير القدرة على تصوير الطريق بسهولة وذلك بأبعاده الثلاثية،وحيث أنه يمكن إنشاء التمثيل الثلاثي الأبعاد من أية زاوية نظر فإن من السهل تقويم المظهر المتوقع للطريق .

3 - بوجود برامج التصميم والرسم يمكن إعادة رسم المخططات بمقياس رسم مختلف بشكل سريع، كما يمكن إنتاج عدة نسخ من الرسومات تركز على الخصائص المرسومة في شرائح مختلفة يمكن تمثيلها بألوان مختلفة .

وهناك عدد من البرامج والحزم الحاسوبية التجارية لتصميم الطرق والتي تستخدم لتحديد التخطيط الأفضل للطريق، فمثلا يعتبر برنامج MOSS واحدا من أشهر البرامج المستخدمة الآن ، والذي تم تطويره في السبعينيات تحت مسمى NOAH من قبل معمل أبحاث النقل البريطاني. وبرنامج MOSS عبارة عن نظام رسم تفاعلي، ويشمل إمكانات مثل تلقي البيانات وتحليلها والتصميم وإعداد العقود والرسم الهندسي والتمثيل البصري ، كما يمكن استخدامه لإعداد التصاميم الإبتدائية والنهائية لمدى واسع من المشاريع التصميمية مثل تخطيط الطرق والتقاطعات السطحية والمحولات متعددة المستويات وتوسعة الطريق ونحوها. كما تتوفر برامج تجارية أخرى مثل برنامج CEAL وبرنامج Softdesk وبرنامج Eagle Point وبرنامج Eclipse وبرنامج PHD2 وبرنامج GTS وغيرها .

وباختصار ، فإن أحد الفوائد الأساسية لاستخدام برامج التصميم الحاسوبية هو تطوير قدرة المهندس على إجراء عدة محاولات تصميمية لغرض تحسين التصميم دون صرف أوقات طويلة وجهود مضنية، مع القدرة على رؤية التأثير الناتج للتعديل في التصميم على المخططات التنفيذية بشكل فوري دون الحاجة لإجراء الخطوات الوسطية العديدة التي كانت مرتبطة تقليديا بالأساليب اليدوية للتصميم في الماضي .

ومن المهم ملاحظة أنه يجب على المهندس المصمم أن يكون ملما إلماما تاما بجميع معايير التصميم ومواصفاته وطرق التصميم اللازمة لتصميم طريق يتميز بالأمان والكفاءة وذلك ليتمكن من استخدام برامج التصميم بالحاسب بشكل سليم .

- 2 -

الفصل الثاني

الاعتبارات والمراحل الأساسية

في دراسة مشاريع الطرق

2 – الاعتبارات والمراحل الأساسية في دراسة مشاريع الطرق :

2-1 – مقدمة :

إن تحقيق الاختيار الأمثل لمسار طريق معين يتطلب دراسة دقيقة ومتنوعة وشاملة لشريط الأرض الذي سيمر عبره الطريق. تتناول هذه الدراسة أموراً أساسية كثيرة، نذكر منها :

- قابلية التطور والانتعاش الصناعي والزراعي والسياحي ... إلخ .
- الوضع الطبوغرافي .
- الوضع الهيدرولوجي.
- الوضع الجيولوجي .
- الوضع الزراعي .
- الوضع السياحي.
- الوضع السكاني والاجتماعي .
- الاحتياجات المرورية، الحالية والمستقبلية .
- الوضع البيئي .
- الوضع السياسي .
- الوضع المالي والاقتصادي.
- أمور أخرى ومعلومات إحصائية تتعلق بآراء أصحاب العلاقة والاهتمام من الجمهور والمؤسسات والدوائر المختلفة.

كذلك فإن هناك اعتبارات أساسية تحكم عملية التصميم ذاتها للطريق المقترح. من بين هذه الاعتبارات ما هو قديم وما هو حديث. نبين في الفقرات التالية ، الاعتبارات القديمة والعوامل التي أدت إلى تطورها ثم الاعتبارات الحديثة الحالية .

2 - 2 الاعتبارات الأساسية القديمة :

يمكن إيجاز الاعتبارات الأساسية القديمة التي كانت تحكم عملية التصميم في النقاط الرئيسة التالية :

1 - الميول التي تحقق أكبر قدر ممكن من الاقتصاد .

2 – المسالك التي تؤدي إلى أقل عدد من منافذ تصريف المياه (الجسور والعبارات).

3 – عدم التقاطع مع الوديان والأنهار الكبيرة تجنباً لإنشاء الجسور الضخمة ذات التكاليف العالية .

4 – المسالك القريبة ما أمكن من المواد الخام اللازمة في عملية الإنشاء (حصمة، رمل، مياه ... إلخ).

2 - 3 العوامل التي أدت إلى تطور اعتبارات التصميم القديمة :

من بين العوامل الرئيسة التي أدّت إلى تطور اعتبارات التصميم القديمة، نذكر :

1 – الإقبال المتزايد على اقتناء وقيادة السيارات والمركبات المتنوعة .

2 – الازدياد الهائل في كثافة وحركة السير.

3 – الاتجاه المتزايد نحو توسيع المدن والبروز المتنامي لظاهرة التحضر (الهجرة من الريف إلى المدن).

4 – الارتفاع الكبير في أسعار الأراضي .

5 – ارتفاع معدّل الوفيات والإصابات الناجمة عن ازدياد حوادث الطرق ناهيك عن الأضرار الهائلة في الممتلكات .

6 – ازدياد أحجام وأوزان المركبات والشاحنات ووسائل النقل المختلفة.

7 – إدخال المعيار الجمالي في تصميم المسارات .

8 – الحاجة إلى خدمات مرورية أكثر راحة وأمناً .

9 – استغلال الشريط المحاذي للطريق في خدمات واستثمارات متنوعة .

10 – اعتبارات النظرة المستقبلية والشمولية في التخطيط .

2 - 4 الاعتبارات الأساسية الحديثة في تصميم المسارات :

نبين فيما يلي أهم الاعتبارات والعوامل الأساسية التي أضحت تحكم عملية التصميم لمسارات الطرق .

1 – التجاوب مع الاحتياجات الحالية والانسجام والتكامل مع المتطلبات والمشاريع المستقبلية .

2 – الحاجة للطريق ومدى الاستفادة منها على المستوى الجماهيري.

3 – تحقيق متطلبات الراحة والجمال بشكل يتكامل مع غايات الطريق الأساسية.

4 – تلبية الاحتياجات المرورية لاستعمالات الأراضي المجاورة الحالية منها والمستقبلية.

5 – تحقيق الوفر الاقتصادي .

6 – تأمين السلامة العامة بأقصى درجة من الاعتبارحتى في حالات السرعة والكثافة المرورية العالية .

7 – متطلبات الصيانة ونفقاتها.

8 – التحمل والديمومة .

9 – الانسجام والتكامل مع المناظر الطبيعية حول المسار ومع طبوغرافية الأرض المجاورة واستعمالاتها.

10 – تحقيق مستوى الخدمات المطلوب للمرحلة الحالية مع أخذ المرحلة المستقبلية بعين الاعتبار.

11 – الملاءمة بين مكاسب مستخدمي الطريق ومكاسب غير مستخدمي الطريق.

12 – العوامل البيئية المختلفة .

2 - 5 – ضوابط ومعايير التصميم[م2] و [م8]

من بين الضوابط والمعايير الأساسية التي يجب مراعاتها في عملية التصميم، نذكر :

1 – استعمالات الأراضي وشئون الاستملاك على طول مسار الطريق .

2 – طبوغرافية شريط الأرض الذي سيمر منه الطريق .

3 – جيولوجية الأرض ضمن الشريط الذي سيمر منه الطريق .

4 – هيدرولوجية المنطقة المؤثرة على شريط الطريق المقترح وإمكانيات التصريف.

5 – كثافة أو حركة المرور ، وتتضمن :

أ – معدّل حركة المرور اليومية الحالية (Average Daily Traffic ,ADT, - Current) .

ب – معدّل حركة المرور اليومية مستقبلاً (ADT, Future) .

جـ– حجم المرور التصميمي في الساعة – مستقبلاً – في الاتجاهين (Design Hourly Volume, DHV, Future) .

د – النسبة : K = DHV/ADT وتتراوح هذه بشكل عام بين 12% إلى 18% .

هـ– نسبة حجم المرور في الاتجاه السائد إلى حجم المرور الكلـــي في الاتجـــاهين ويطلق عليها " D " وتتراوح بين 55% إلى 80% من الـــ(DHV) بالاتجاهين.

و – نسبة عدد الشاحنات إلى عدد المركبات الإجمالي (T) وهي تتراوح بين (5%) إلى(10%)من الـــ (DHV) وتبلغ حوالي (1.3%) من الـــــ (ADT) وعلـــى أي الأحوال فإن هذه النســـب تختلف باختلاف الموقع المختار من الطريق كما أنها تنطبق على الطرق الريفية الرئيسة .

6 – أبعاد ومواصفات المركبات المستخدمة للطريق (Vehicle Data) : يجري أخـــذ أبعـــاد المركبات التي ستمر على الطريق بعين الاعتبار. تشمل هذه الأبعاد : الطول الكلـــي للمركبة، العرض الكلي للمركبة، طول الجزء المتقدم من المركبة على محور العجـــلات الأمامية وطول الجزء المتأخر من محور عجلاتها الخلفية، وقاعدة المركبة(المسافة بـــين محور العجلات الأمامي ومحور العجلات الخلفي). ومن الطبيعي أن يتم التركيز على نوع وأبعاد العربات الأكثر استخداماً للطريق لأنها تشكل نسبة كبيرة من كثافـــة المرور. وعند تصميم الطرق التي ستستخدمها الشاحنات،يجب أن تؤخذ بالاعتبار أبعاد ومواصفات أحد نوعي الشاحنات ذوات المقطورات (WB-50 أو WB-40). ويفضل التأكد من قدرة أكبر شاحنة يمكن أن تستخدم الطريق على اجتياز منعطفات محدّدة منه ، انظر الجدول رقم (2-1) التالي .

7 – السرعة التصميمية والسرعة التشغيلية (Design and Running Speeds) :

يقصد بالسرعة التصميمية تلك التي يمكن أن يطبقها السائق دون خطـــر في ظـــل المعطيات التصميمية وفي ظل ظروف مناسبة من حيث الطقـــس والرؤيـــة ... إلخ. ترتبط السرعة التصميمية ، التي يمكن أن تتفاوت من مكان لآخر على الطريق ذاته بالعوامل الطبيعية التي تتصل اتصالاً مباشراً بحركة المركبات وبسبل تسييرها. مـــن هذه العوامل نوع الطريق وتضاريس المنطقة التي يمر منهـــا الطريق.أمّا السرعـــــة

جدول 2-1 أبعاد ومواصفات بعض المركبات التصميمية [AASHTO, 1994, P.21]

نوع مركبة التصميم Type of Design Vehicle	الرمز Symbol	الأبعاد بالمتر					
		قاعدة المركبة Wheel Base	الجزء المتقدم من المركبة على محور العجلات الأمامية والجزء المتأخر من محور العجلات الخلفية Overhang		الطول الكلي للمركبة Overall Length	العرض الكلي للمركبة Overall Width	الارتفاع Height
			أمامي Front	خلفي Rear			
سيارة ركاب Passenger Car	P	3.4	0.9	1.5	5.8	2.1	1.3
حافلة بوحدة منفردة Single Unit Bus	Bus	7.6	2.1	2.4	12.1	2.6	4.1
شاحنة بوحدة منفردة Single Unit Truck	SU	6.1	1.2	1.8	9.1	2.6	4.1
شاحنة ذات مقطورة حجم متوسط Semitrailer (Combination), Intermediate	WB-12	4+8.2= 12.2	1.2	1.8	15.2	2.6	4.1
شاحنة ذات مقطورة حجم كبير Semitrailer (Combination), Large	WB-15	6.1+9.1 =15.1	0.9	0.6	16.7	2.6	4.1

التشغيلية فهي السرعة التي يطبقها السائق بناء على واقع الطريق وظروفه الفعليـــة. يقدّر معدّل السرعة التشغيلية بحاصل قسمة مجموع المسافات المقطوعة لعدد مناسب من المركبات ولفترة معينة على مجموع الوقت الفعلي المستغرق في قطـع هـذه المسافات (أوقات التوقف غير معتبرة). ويرتبط معدّل السرعة التشغيليـــة (Average Running Speed) بأمور تصميمية متعددة مثل معدّلات التعليـــة (Superelevation Rate) وأطوال الأجزاء الخاضعة للميول الرأسية ومناطق تقاطع المنحنيات .

8 – سعة المرور التصميمية (Traffic Design Capacity) :

تعتمد سعة المرور التصميمية على مقدار العرض المخصص لكل مسرب (Lane) ، وكفاءة أكتاف الطريق (Shoulders) من حيث عرضها وملاءمتها ... إلخ، ومسافة الرؤية، وكثافة الشاحنات المستخدمة للطريق ... إلخ.

9 – مسافة الرؤية للتوقف الآمن (Safe Stopping Sight Distance) ؛ [م2]

تعرّف مسافة الرؤية التصميمية للتوقف الآمن بمقدار الحد الأدنى للمسافة الضرورية لتوقف مركبة تسير بسرعة تقترب من سرعة التصميم (Design Speed) دون أن تصطدم بعائق يعترض خط سيرها (التوقف الآمن). ومن الواضح أنه قبل أن يتمكن السائق من التوقف نهائياً ، يكون قد صرف وقتاً في تمييز العائق وإجراءات رد الفعل ووقتاً آخر يعتمد على مدى تجاوب المركبة ميكانيكياً وعلى طبيعة سطح الطريق إحتكاكياً. من المفيد جداً أن تكون مسافة الرؤية للتوقف الآمن محققة عند كل نقطة من الطريق وبأطول ما يمكن ولا يجوز أن تقل بحال من الأحوال عن القيم التالية المتناسبة مع سرعة التصميم ، انظر الجدول رقم (2-2) .

الجدول رقم 2-2 الحدود الصغرى لمسافات الرؤية الضرورية للتوقف الآمن والمتناسبة مع قيم مختارة للسرعة التصميمية* [AASHTO, 94 , P.120]

السرعة التصميمية(كم/س) Design Speed (kph)	50	60	70	80	90	100	110	120
مسافة الرؤية الصغرى للتوقف الآمن (متر) Minimum Safe Stopping Sight Distance (m)	60	85	110	140	170	205	245	285

* بافتراض ارتفاع عين السائق فوق سطح الطريق يساوي (1.07m) وارتفاع العائق فوق سطح الطريق أمام المركبة يساوي (0.15m)

10 – مسافة الرؤية للتجاوز الآمن (Safe Passing Sight Distance)؛ [م2]

يبين الجدول (2-3) الحدود الصغرى لمسافات التجاوز الآمن المتناسبة مع قيم مختارة للسرعة التصميمية في حالات الميول الخفيفة للطرق ذات المسربين (2 - Lane High Ways) .

الجدول رقم 2-3 الحدود الصغرى لمسافات التجاوز الآمن لقيم

مختارة للسرعة التصميمية* [AASHTO, 94 , P.134]

السرعة التصميمية(كم/س) Design Speed (kph)	50	60	70	80	90	100	110	120
مسافة الرؤية للتجاوز الآمن(متر) Minimum Safe Stopping Sight Distance	345	407	482	541	605	670	728	792

* تقاس المسافة من عين السائق على ارتفاع يساوي (1.15m) فوق سطح الطريق وارتفاع أعلى نقطة من سطح المركبة القادمة يساوي (1.4m)

2 - 6 المراحل الرئيسة في تصميم خطوط المسارات (Main Stages of Route Design):

يمكن تقسيم الأعمال اللازمة لإنجاز وتحقيق التصميم والإنشاء الجيد لمشروع طريق معين إلى أربع مراحل رئيسة هي : مرحلة التخطيط، مرحلة تعيين الخيارات المناسبة، مرحلة المفاضلة بين خيار وآخر، ومرحلة التصميم النهائي للمسار.

2-6-1 مرحلة التخطيط (Planning or Preliminary Location Stage)، [م34]

الغاية الأساسية من هذه المرحلة هي إجراء مسح شامل للمنطقة المراد إمرار الطريق عبرها ومن ثم التعرف على :

- الأجزاء الوعرة (Rough Terrain) .
- المستنقعات (Marsh Areas) .
- الأجزاء المتزلقة أو القلقة جيولوجياً (Poor Geological Foundation) .
- المناطق الحيوية التي سيخدمها الطريق سواء بالمرور بها أو الاقتراب منها .

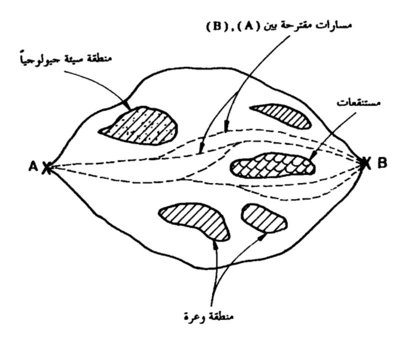
تعد هذه المرحلة من أكثر مراحل التصميم أهمية لما لها من تأثير بالغ على تكاليف تنفيذ المشروع وصيانته في المستقبل إضافة إلى علاقتها المباشرة بنوعية واتساع الخدمات التي يقدمها الطريق وبالناحيتين الطبوغرافية والجمالية لشريط الأرض الذي يمر منه الطريق. لقد استندت أعمال التصميم في الماضي وبشكل رئيسي على العامل الطبوغرافي وبشكل أدق على العامل المتعلق بالأعمال الترابية من حفر وردم . غير أن هذا العامل، وعلى الرغم من أهميته ووجوب أخذه بعين الاعتبار ضمن معايير التصميم الحديثة،ليس بالعامل الأهم

في جميع الحالات إذ لابد من دراسة عوامل أساسية وحيوية أخرى تنعكس بآثارها على تكلفة الإنشاء الحالية وعلى تكلفة الصيانة في المستقبل . من هذه العوامل: جيولوجية شريط الأرض الذي سيمر منه الطريق ، هيدرولوجية المنطقة من حيث مسالك المياه وطبيعة وكفاءة شبكات التصريف للمياه الطبيعية (الأمطار) والخدماتية، توفر مواد الإنشاء كالمقالع الحجرية (لأغراض الفرشيات وصب الخرسانة لمختلف الأعمال الإنشائية) وينابيع المياه، تحقيق الجمال والراحة والأمان أثناء السير على الطريق، ونوع وحجم الخدمات المختلفة التي يمكن أن يساهم بها الطريق .

ولتأمين سلامة التخطيط من حيث تحقيق مختلف أهداف التصميم الضرورية المتمثلة في الوفر الاقتصادي والجمال والراحة والأمن ، ينبغي الاستعانة بشتى أنواع الصور والخرائط والتقارير والمعلومات المتوفرة للشريط الأرضي الخاص بمشروع الطريق (أو بخط المواصلات أو المسار موضوع الدراسة). وكما ذكرنا آنفاً، لابد من إجراء زيارات ميدانية واستطلاعات على الطبيعة.

بالنسبة للمقاييس المناسبة للصور والخرائط المستخدمة في هذه المرحلة فهي متفاوتة حسب تضاريس المنطقة واستعمالاتها. بشكل عام يمكن القول أن هذه المقاييس تكون عادة أصغر من (1 : 50 000) ، وفيما يتعلق بالفترة الكنتورية للخرائط المستخدمة في هذه المرحلة فهي لا تعتمد على الدقة المنشودة لهذه المرحلة وعلى مقاييس الخرائط المستخدمة فحسب وإنما تعتمد أيضاً بشكل أساسي على تضاريس المنطقة التي تغطيها الخرائط (درجة انحدار سطح الأرض). وبالنسبة لعرض المنطقة التي يجب أن تشملها الدراسات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية في هذه المرحلة فتتراوح بين (0.4) إلى (0.6) من طول المسافة بين نقطتي بداية المسار المقترح ونهايته. وبالتالي فإن هذا العرض قد يتراوح بين بضع كيلومترات إلى عشرات (وأحياناً أكثر بكثير) الكيلومترات وفقاً لتضاريس جيولوجية وهيدرولوجية المنطقة وكثافة وأهمية الخدمات والاستعمالات المتوافرة أو المتوقع توافرها إضافة بالطبع إلى نوع وأهمية وموازنة المشروع المنوي تنفيذه، شكل (2-1) .

نبين في الشكل (2-2) تسلسل الأعمال الرئيسة التي تشتمل عليها مرحلة التخطيط.



شكل 2 - 1 استثناء المناطق الصعبة طبوغرافياً والقلقة جيولوجياًوالمنزلقة أو السيئة هيدرولوجياً في الشريط الممتد بين نقطتي(A) و (B) وبعرض قد يصل إلى حوالي (0.4) إلى (0.6) من الطول AB لغايات شق طريق عبر هذا الشريط

البحث عن مصدر التمويل	←	تخطيط وتنفيذ شبكات النقل (الطرق وغيرها)	→	استقصاء احتياجات المؤسسات والدوائر ذات العلاقة

↓

- قرار بإنشاء طريق بين موقعين محددين .
- تحديد الغايات والأهداف .

↓

جمع ما يتوفر من صور جوية وخرائط ومعلومات وتقارير متنوعة (طبوغرافية ، جيولوجية ، هيدرولوجية ، سكانية ، خدماتيـــة، مرورية ...... الخ) تخص الشريط الأرضي الذي سيمر منه الطريـــق.

↓

* مراجعة عامة للمعلومات والصور والخرائط
* وضع الضوابط التي ستحكم عملية الاختيار من حيث :
  - العوامل أو المؤثرات الاقتصادية .
  - حجم ونوع الخدمات التي سيوفرها الطريق .
  - العوامل الاجتماعية .
  - العوامل السياسية .
  - الاحتياجات والعوامل المرورية .
  - العوامل البيئية .
  - وضع المعايير الفنية والتنفيذية .

↓

اقتراح أو وضع تصور مبدئي لعدد من خطوط المسارات بين الموقعين المحددين

↓

مراجعة وجمع وتوثيق كافة المعلومات والتقارير الخاصة بهذه المرحلة .

↓

مرحلة تعيين الخيارات المناسبة

شكل 2 - 2 تسلسل الأعمال الرئيسة في مرحلة التخطيط

2-6-2- مرحلة تعين الخيارات المناسبة (Determination of Feasible Routes Stage) :

يجري في هذه المرحلة التعرف على الخيارات الممكنة والمناسبة وتحديدها (All Feasible Route Altenatives) من خلال دراسة الخرائط والصور الجوية المتوافرة بشكل أكثر دقة وتفصيلاً من تلك التي استخدمت في المرحلة الأولى – مرحلة التخطيط. تشتمل هذه الدراسة على الاعتبارات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية إضافة إلى نوع وحجم الخدمات التي يمكن أن يقدمها كل خيار مقترح. تعتمد المقاييس المناسبة للصور والخرائط المستخدمة في هذه المرحلة على تضاريس المنطقة من حيث درجة الوعورة وعلى كثافة ونوع الاستعمالات والخدمات المتوفرة. جدير بالملاحظة أنه كلما ازدادت وعورة المنطقة وانخفضت استخداماتها صغر مقياس الرسم ، بينما يزداد المقياس مع ازدياد كثافة الاستخدامات ونقصان الميل في سطح الأرض الطبيعية.فيما يلي بعض المقاييس التي يمكن الأخذ أو الاستئناس بها.

- (1/25000) إلى (1/60000) للمناطق الريفية والوعرة ذات الاستغلال المعدوم أو المحدود.
- (1/18000) إلى (1/25000) للمناطق الريفية ذا الاستغلال والاستعمالات الكثيفة بغض النظر عن طبوغرافية الأرض .
- (1/6000) إلى (1/20000) للمناطق الحضرية .

نبين في الشكل (3-2) تسلسل البنود الرئيسة التي يجري عادة إنجازها في مرحلة تعيين الخيارات المناسبة .



شكل 2 - 3 تسلسل لأهم البنود المشاركة في مرحلة تعيين الخيارات المناسبة

3-6-2 مرحلة المفاضلة بين خيار وآخر :

يتم في هذه المرحلة دراسة تفصيلية لكل من المسارات المختارة (مع نهاية المرحلـــة الثانية) بعد أن تم تحديدها ورسمها على الخرائط والصور وذلك لغايات للمفاضلة بين خيار وآخر . من العناصر الأساسية لعملية المفاضلة ، نذكر :

- التكاليف المتوقعة وهذه تحتاج إلى معرفة :
  * طول المسار .
  * نفقات الاستملاك (للأراضي المتقطعة).
  * عدد وأبعاد التقاطعات المائية .
  * تواجد ووفرة المقالع الحجرية المناسبة من حيث النوعية والموقع.
  * مصادر المياه (مدى قربها ووفرتها).
  * حجوم ونفقات الأعمال الترابية .
  * نفقات المحروقات (وفقاً للمسافة والميول الرأسية اللازمة).
  * حجم وأهمية الخدمات التي سيتسبب بها المسار للأراضي المحاذيـــة ومالكيها ومستعمليها . .
  * نفقات الصيانة المستقبلية (تعتمد هذه إلى حدٍّ كبير على الخصائص الجيوتكنيكيـــة لشريط الأرض من حيث الثبات ودرجة أو قوة التحمل كما تعتمد على الخصائص الهيدرولوجية للمنطقة من حيث مدى قدرتها علـــى تصريـــف الميـــاه الســـطحية والباطنية) .
  * مستوى الخدمات المرورية التي يتميز بها المسار من حيث توفير الراحة والأمن .
  * ملاءمـــة وتجانس المسار مع المحيط الطبوغرافي والبيئة العامة للمنطقة ومـــدى مـــا يضيفه المسار إلى أسباب الراحة والسياحة والجمال العام الطبيعي ... إلخ .

فيما يتعلق بالدقة المطلوبة لهذه المرحلة فلا حاجة أن تكون عالية ويمكن اســـتخدام أدوات تجسيم بسيطة. وبالنسبة للمخططات والخرائط والصور الجوية لهذه المرحلة فـــهي بحدود (1/5000) إلى (1/10000) للخرائط وبحدود (1/5000) إلى (1/25000) للصور الجوية .

إن استخدام الصور الجوية في هذه المرحلة أصبح شائعاً وبخاصة لدى المؤسسات الكبرى التي تعنى بشئون تصميم وتنفيذ شبكات الطرق والمسارات الأخرى على نطاق واسع. نبين فيما يلي ملخصاً للخطوات الأساسية التي يمكن إتباعها عندما يكون المسار (أو أجزاء كبيرة منه) واقعاً في مناطق مفتوحة (مكشوفة نسبياً)وغير آهلة بالسكان والخدمات والمعالم الاصطناعية الكثيرة :

- اختيار شبكة من نقاط تغطي شريط الأرض المعتبر الذي يجتازه كل من المسارات المختارة في المراحل الأولى من التصميم وذلك باستخدام الصور الجوية .
- قياس إحداثيات ومناسيب نقاط الشبكة وتسجيلها أتوماتيكياً على أشرطة أو أقراص ممغنطة مناسبة.بهذا يصبح شريط الأرض ممثلاً بنموذج أرضي رقمي (Digital Terrain Model).
- إعداد برامج التحويل والحساب والتصميم المناسبة لغايات حساب الكميات وإخراج المعلومات اللازمة لأغراض المفاضلة بين خيار وآخر .

من الطبيعي أن دور المساحة الجوية والأدوات والبرامج والوسائل المتقدمة يصبح ثانوياً عندما يراد تصميم طريق عبر شريط أرضي مكتظ بالمباني والخدمات ومختلف المعالم البارزة. ذلك لأن المصمم في مثل هذا الوضع لا يتوقف كثيراً عند التكاليف والنفقات والظروف والشروط الفنية والطبوغرافية (وما إلى ذلك) بقدر ما يتوقف عند مدى الحاجة لخدمة وتلبية الاحتياجات المرورية والتعليمية والصحية والاجتماعية وغيرها من الضوابط السكانية والخدماتية الملحّة وذات الأولوية .

2- 6 - 4 مرحلة التصميم النهائي للمسار :

في هذه المرحلة يأتي دور عمل المخططات التفصيلية اللازمة لأغراض التصميم النهائي والتنفيذ الميداني للمسار المعتمد . كما ذكرنا آنفاً تكون مقاييس المخططات (1/1000) إلى (1/2000) مشتقة من صور جوية (يمكن فعل ذلك بالطبع) مقياس (1/4000) إلى (1/8000) على الترتيب ، تقريباً . بمثل هذه المقاييس يمكن استخدام أو اختيار وتحقيق فترة كنتورية تتراوح بين (0.5m) إلى(2.5m وربما 5m أحياناً) بدقة تتراوح بين (0.2m) إلى

(0.5m) تقريباً. أمّا الدقة للمكن تحقيقها في قياس للسافات الأفقية فهي بحدود (10cm) إلى (0.35m) .

2-7- دور المساحة الجوية في أعمال تخطيط وتصميم الطرق

تلعب للساحة الجوية ، ومنذ عدة عقود، دوراً بارزاً في أعمال تخطيط وتصميم مشاريع الطرق. فالمهمة الأساسية للمساحة الجوية، أو المساحة التصويرية الجوية (Aerial Survey) هي إنتاج المخططات والخرائط المتنوعة (طبوغرافية، جيولوجية، هيدرولوجية ..إلخ) من خلال الصور الجوية وأجهزة التجسيم والرسم المتخصصة والمتنوعة. وقد سبق أن ذكرنا وبيّنا بالتفصيل في الفقرات السابقة أهمية هذه الخرائط لمختلف مراحل التخطيط والتصميم لمشاريع الطرق. يبين الجدول (4.2) مقاييس الصور الجوية التي يمكن استخدامها لإنتاج المخططات والخرائط الطبوغرافية المتنوعة التي يستند إليها في الدراسات الأولية والنهائية لمشاريع الطرق.

جدول 2 - 4- مقاييس الصور الجوية التي يمكن استخدامها لإنتاج المخططات والخرائط الطبوغرافية المتنوعة،[م 5]

المرحلة	مقياس الصور الجوية (تقريبا)	مقياس المخططات والخرائط	الفترة الكنتورية (m)	الدقة المتوقعة * في المناسيب (m)
التخطيط والدراسة الأولية	1 : 25000	1 : 10000	5 - 10	1 - 1.5
	1 : 100000	1 : 50000	10 - 25	2 - 5
التصميم الأولي	1 : 15000	1 : 5000	2 - 10	0.5 - 0.8
	1 : 25000	1 : 10000	5 - 10	1 - 1.5
التصميم والدراسة النهائية	1 : 4000	1 : 1000	0.5 - 1	0.2 - 0.3
	1 : 8000	1 : 2000	1 - 5	0.3 - 0.5
	1 : 10000	1 : 2500	1 - 5	0.3 - 0.5

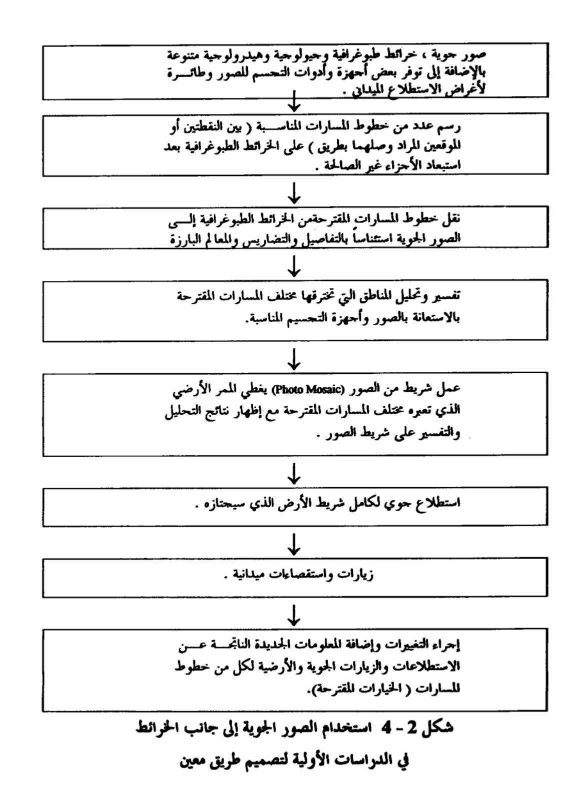
• تقدر الدقة المتوقعة في المناسيب المستخرجة من منتجات المساحة الجوية بحدود (Z 0.0003) حيث ترمز (Z) إلى ارتفاع الطيران [م 5]

وبالإضافة إلى كون الصور الجوية أساس عمل للمخططات والخرائط المتنوعة فإنـــه يجري أيضاً استخدامها في تفسير الظواهر الطبيعية والاصطناعية واستنباط الحجم الهائل من المعلومات الجيولوجـــية والهيدرولوجية ودراسة الخدمات والتوزيعات السكانية وغيرهــا وذلك من خلال المتخصصين في المجالات المختلفة وبالاستعانة بأجهزة التحسيم المتنوعة .

يبين الشكل (2-4) مجال استخدام الصور الجوية ، إلى جانب الخرائط المتنوعة، في الدراسات الأولية المتعلقة بتعيين الخيارات المناسبة لطريق معين . من هذا الشكل يمكن استخلاص الملاحظات التالية :

أ – إن دراسة الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية إلى جانب الصور الجوية أمر هام حيث يكمل بعضها الآخر، فالخرائط من ناحية تزويد المصمم بما يلزم من معلومات مترية (أبعاد وكميات) والصور الجوية بدورها تقدم المعلومات النوعيـــة (هوية التفاصيل، وتمييزها وبيان أنواعها وخصائصها) حول التربة مـــن حيـــث طبيعتها الزراعية والجيولوجية وحول ما على سطح الأرض من تفاصيل (مـــهما كانت صغيرة ، نسبياً) وما يجري عليها من أنهار وجداول ووديان (حـــتى ولـــو كانت ضيقة ، نسبياً) ... إلخ .

ب – إن استخدام الطائرة في استطلاعات ميدانية لمنطقة المشروع من شأنه أن يســاعد للمصمم في التعرف على التفاصيل والطبيعة البيئيـــة والســياحية والهيدرولوجيـــة والخدماتية التي تحيط بكل خيار مع إمكانية الربط بين هذه العناصر. يؤدي هـــذا بدوره إلى استبعاد بعض الحلول أو الخيارات المقترحة ومن ثم يتيـــح التركـــيز في التحليل والاستقصاء على عدد أقل من الخيارات . بالطبع لابد من زيارات ميدانية لمواقع مختارة (وخصوصاً تلك المواقع الحرجة أو المشكوك في هويتها وفقـــاً لمـــا أشارت إليه الاستطلاعات الجوية) لغايات التحقق والاستقصاء. كذلـــك فـــإن الاستطلاع الميداني بوسائل برية وجوية وبزيارات حقلية مباشرة يفيـــد أيضـــاً في التعرف على حاجة المنطقة وأهليتها لمشاريع تنموية مختلفة . جدير بالذكر أيضـــاً أن الاستطلاع الميداني يمكن تكراره عـــدة مرات قبل أخذ الصـــور وفي أثنـــاء تحليـــل الصور ودراسة الخرائط وبعدها.



شكل 2 - 4 استخدام الصور الجوية إلى جانب الخرائط

في الدراسات الأولية لتصميم طريق معين

يمكن تلخيص فوائد أعمال الاستطلاع الميداني بالأمور التالية :

- الدراسة عن قرب للمواقع الحرجة والحيوية (مناطق الانزلاق، مواقع المستنقعات والاختناقات المائية، ... إلخ).
- التعرف على نوع واستعمالات الأراضي المجاورة للمسارات المقترحة، وشدة الرياح وتكرارها واتجاهها، احتمالات حدوث إنسدادات وإنغلاقات مرورية، وجود مسببّات فيضانية .
- التوفيق بين ملاءمة المسار المقترح للشروط الطبوغرافية المحيطة وبين أسعار واستعمالات الأراضي والخدمات الحالية والمستقبلية .
- استخدام أجهزة التجسيم البسيطة (جهاز التجسيم الجيبي Pocket Stereoscope على سبيل المثال) والصور الجوية لإضافة أية تعديلات أو معلومات جديدة تفرزها عملية الاستطلاع الميداني.

جـ- إن الغاية الأساسية من تفسير وتحليل الصور الجوية بالاستعانة بأجهزة التجسيم المتنوعة هي التعرف على العناصر الأساسية التالية المتعلقة بكل خيار أو مسار مقترح :

- طبيعة التربة التي سيمر بها المسار، ونقصد بطبيعة التربة هنا درجة ثباتها وقابليتها للإنزلاق.
- الممرات المائية التي سيجتازها كل مسار وبيان عددها وأبعادها وجيولوجيتها والأحواض المغذية لها .
- نوع وطبيعة استخدامات الأراضي التي سيقتطعها كل مسار وأثر هذا الاقتطاع على الأراضي المقتطع منها.
- مدى توافر وكفاءة شبكات التصريف على كامل طول الشريط الأرضي الخاص بكل مسار أو خيار.
- مدى تأثير تنفيذ كل مسار من المسارات المقترحة على البيئة (قرب المسار من المستشفيات والمدارس والحدائق العامة ..إلخ)، وأثر ضجيج ودخان السيارات على مثل هذه الأماكن الحيوية والحساسة ومدى حاجة هذه الأماكن إلى الخيار أو للمسار المقترح وهل هذه الحاجة تفوق أو تبرر وجود الضرر البيئي بتنفيذ المسار؟

- فـروق الارتفاعات والانحدارات (الميول الرأسية) لمختلف أجزاء الشريـط الأرضـي على طول كل من الخيارات المقترحة .
- مستوى وأهمية وحجم الخدمات المنظورة والمستقبلية التي يتوقع أن يوفرها كـل مـن الخيارات الممكنة.

د - إن لصق (أو الإشارة إلى) المعلومات المستخلصة من خلال الفحص التجسيمي للصور ومن الزيارات الميدانية ومن أية مصادر أخرى، على الصور الجوية يساعد بشكل فاعل في تمييز الخيارات المقترحة والمفاضلة بينها .

هـ- بملاحظة المعلومات الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية .. إلخ المضافـة علـى الصور بمساعدة أجهزة التجسيم المناسبة، يجري رسم خطوط المسارات المناسبة بـين النقطتين أو الموقعين المراد وصلهما بطريق .

و - في الحالات التي لا تتوفر فيـها خرائـط طبوغرافيـة و/أو خرائـط جيولوجيـة وهيدرولوجية،فإن الحاجة إلى استخدام الصور الجوية والخرائط التصويرية (Photo Maps) تصبح أكثر إلحاحاً. ذلك لأن الصور الجوية تصبح المصدر الرئيسي للمعلومات بشقيها المترية (أبعاد وإحداثيات... إلخ) والتفسيرية (معلومات حول جيولوجية وهيدرولوجية وطبوغرافية شريط الأرض المعتبر بما في ذلك التحريات حول مواقع الثروات المعدنيـة والمقالع الحجرية والينابيع المائية وإمكانات المنطقة الزراعية والصناعية والسياحية..إلخ).

ز - كلما كانت المنطقة التي سيمر منها الطريق مشكوفة (صحراوية، ريفية شبه خالية من الخدمات الكثيفة) كلما ازدادت فاعلية استخدام الصور الجوية في دراسـة شريـط الأرض المعتبر.

2- 7 - 1 حالة عدم توفر الخرائط واعتماد الطـرق الفوتوغرامتريـة في التخطيـط والتصميم:

في الحالات التي لا تتوفر فيها خرائـط مناسـبة، يمكـن اللجـوء إلى الطـرق الفوتوغرامترية للقيام بكافة (أو على الأقل بمعظم) أعمال التخطيط والتصميم لمشـاريع الطرق. تتلخص هذه الطرق الفوتوغرامترية بإنجاز أربع مراحل رئيسة نلخصها على النحو التالي :

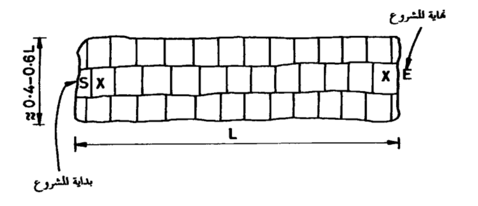
1 – مرحلة الاستطلاع الشامل لكامل منطقة المشـــروع (Reconnaissance Survey of the Entire Project Area) يتم في هذه المرحلة إنجاز البنود الأساسية التالية :

أ – تصوير منطقة المشروع بمقياس صغير نســـبياً (1/18000 أو 1/25000 أو حـــتى 1/50000) ، شكل (5-2) .

ب – فحص مجسم (Stereoscopic Examination) للصور بالاستعانة بأدوات التجســـيم المناسبة من نوع جهاز التجسيم ذو المرايا (Mirror Stereoscope) ، بهدف التعرف على شريط المشروع بشكل عام ومبدئي.

جـ– فحص مجسم للصور ذاتها بشكل أدق وأكثر تفصيلاً لغايات التأشير علـــى شفافيات مناسبة (ملصقة بالصور أثناء عملية الفحص المجسم) للمواقع الـــتي يعتقد أنها حيوية ويتوجب إمرار الطريق عبرها أو بجوارها، وكذلك للمواقع السيئة (جيولوجيا أو/ و هيدرولوجياً) وللمواقع الصعبـــة وللمكلفـــة (ذات تضاريس صعبة تتطلب أعمال حفر وردم وحماية مكلفة)والتي يتوجب تجنبها.

د – الآن وبعد استقصاء وتحسس المواقع المناسبة من غير المناسبة لاعتبارات كثيرة متنوعة سبق الإشارة إليها أعلاه (وفي فقرات وبنود سابقة أيضـــاً) يجـــري التوقيع على الصور الجوية لمختلف الخطوط أو المسارات الممكنة والمناسبة.



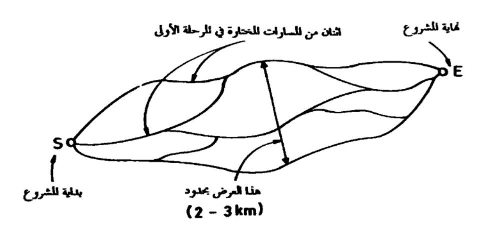
شكل 2 - 5 صور جوية تغطي كامل منطقة شريط الأرض المنوي إمرار الطريق عبره، بمقياس صغير وبتغطية أمامية وجانبية ومواصفات تحقق شروط التجسيم لكامل الشريط

2 – مرحلة استطلاع الخيارات المناسبة (Reconnaissance Survey of Feasible Routes) :

يجري في هذه المرحلة استطلاع كل من المسارات المختارة، أي تلك التي وجدت ذات جدوى، بهدف إنجاز الأمور التالية :

أ – التقاط صور بمقياس كبير نسبياً (1/10000 أو 1/12000 أو 1/15000، على سبيل المثال) تغطي كل شريط من أشرطة المسارات المختارة في المرحلة الاستطلاعية السابقة. يكون عرض هذه الأشرطة عادة ما بين (2 km) إلى (3 km) ، شكل (2-6) .

ب- فحص تجسيمي تفصيلي لأزواج الصور المتتالية الخاصة بكل مسار أو خيار والتأشير على شفافيات مناسبة لكافة الضوابط والموانع والمعالم الطبيعية البارزة سواء كانت من المرغوب فيها أم من غير المرغوب فيها(موانع طبوغرافية أو خدماتية أو جيولوجية أو هيدرولوجية أو بيئية أو ربما مواقع أجزاء يصعب استملاكها ..إلخ).



شكل 2 - 6 التقاط صور جوية بمقياس كبير تغطي كل مسار من المسارات المختارة بعرض كاف

جـ- إنتاج مخططات وخرائط متنوعة من الصور الجوية بالوسائل الفوتوغرامترية لأي جزء من أي من المسارات المختارة وحيثما يلزم ذلك .

د – التوقيع على الصور والخرائط (المنتجة منها بالطرق الفوتوغرامترية) للمسارات المختارة وحيثما يلزم ذلك .

هـ- إجراء دراسة مقارنة ومفاضلة بين هذه المسارات .

و - انتقاء المسار أو الخيار الأفضل استناداً إلى الضوابط والمعطيات التي تم جمعها وتحديدها ودراستها (Selection of the Best Route) بشكل تفصيلي. ولابد للفريق المصمم من القيام بتحديد ودراسة كافة العناصر الهندسية لكل مسار وذلك في الوضعين الأفقي والرأسي (Horizontal and Vertical Geometrics) استناداً إلى معلومات الخرائط والصور المفحوصة بأدوات التجسيم المناسبة. ومن الطبيعي أن يكون للحاسوب والبرامج الحاسوبية الخاصة دور بارز هنا في عملية الدراسة والمقارنة وصولاً إلى الخيار الأفضل .

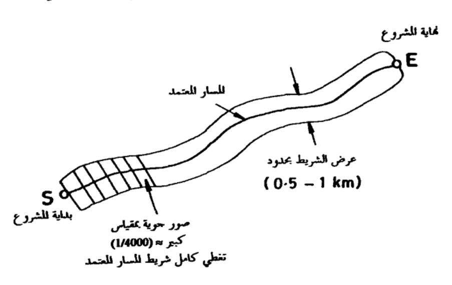
3 - المسح الأولي للخيار المعتمد (Preliminary Survey of the Selected Route)

يتم هنا إنجاز البنود الرئيسة التالية :

أ - عمل مخططات بمقياس كبير [يتراوح عادة بين(1/1000) إلى (1/2000)] للمسار المعتمد وذلك إمّا من خلال صور جوية مقياس = (1/4000) ، أو من خلال طرق المساحة الأرضية (بعد نقل أو توقيع شريط المسار المعتمد إلى الطبيعة استئناساً بالصور الجوية التي سبق أن رسم عليها هذا المسار في المرحلة الثانية)، شكل (2-7) .

ب - إنجاز البنود التصميمية والحسابات المختلفة المتعلقة بالمقاطع العرضية والطولية للمسار المعتمد. يتم هذا إمّا من خلال المخططات والخرائط الطبوغرافية، أو من خلال تفحص الصور الجوية بواسطة أجهزة الرسم والتجسيم الفوتوغرامترية (يسميها البعض "أجهزة إعادة الجَزّم Stereoplotters). لاحظ أنه أصبح من الشائع في وقتنا الحاضر استخدام الوسائل الفوتوغرامترية لعمل مخططات طبوغرافية دقيقة بشكل كاف لشريط الأرض المعتبر. إن أهمية الطرق الفوتوغرامترية في إنتاج مثل هذه المخططات تكمن في سرعتها وسهولتها وانخفاض تكلفتها مقارنة بطرق المساحة الأرضية التقليدية . يعود السبب في ذلك إلى أن معظم أعمال الحقل الميدانية لطرق المساحة الأرضية تتحول إلى أعمال مكتبية وبمشاركة الحاسوب. من شأن هذا أن يقلل بشكل معتبر من التكلفة والوقت اللازم. جدير بالملاحظة هنا أن جميع الطرق الفوتوغرامترية المشار إليها أعلاه (قديمها وحديثها) تستند أساساً إلى

عدد من نقاط الضبط أو التحكم الأرضية (Ground Control Points) . من المعروف أن هذه النقاط (المرجعية) يجري قياس أو تعيين إحداثياتها بدقة بطرق المساحة الأرضية



شكل 2 - 7 عمل مخططات طبوغرافية واستنباط المعلومات المترية المتعددة للمسار المعتمد في نهاية المرحلة الثانيـــــة

(طرق التقاطع الأمامي والعكسي والمضلعات، علـــى سـبيل المثـــال، بالنســبة للإحداثيات الأفقية وطريقة التسوية العادية المبـــاشرة Ordinary Levelling بالنســبة للمناسيب). كذلك لابد أن تظهر (وبشكل واضح) هذه النقاط علـــى الصـــور الجوية المستخدمة في إنتاج الخرائط واشتقاق مختلف الأبعاد والمعلومـــات المترتبـــة المتنوعة. بالنسب لعدد هذه النقاط المرجعية (البعض يسميها " نقـــاط التوجيــه" حيث يجري من خلالها توجيـــه الحـــزم الضوئيـــة Bundles of Rays للصورتـــين التجسيميتين توجيهاً نسبياً Relative Orientation وتوجيهاً مطلقاً Absolute Orientation قبل بدء الرسم واشتقاق المعلومات المترية المتنوعة) التي يتوجب ظهورها في الجـــزء المشترك بين كل زوج تجسيمي من الصور الجوية فهو أربع نقاط على الأقل معلومة الاحداثياتوالمناسيب (أو ثلاث نقاط معلومة الاحداثيات الأفقية وخمس نقـــاط معلومة للمناسيب) موزعة في الأطراف ما أمكن . تكون هذه النقـــاط مجســـدة في

الطبيعة على شكل اسطوانات أو مكعبات خرسانية مؤشر عليها بدهان أبيـــض أو محاطة بلوحات بيضاء خاصة بأبعاد (25 cm × 25cm) أو (50 cm × 50 cm) ليســـهل رؤيتها على الصور من خلال الأجهزة التجسيمية .

ملحوظة :

بالإضافة إلى إنتاج المخططات والخرائط الطبوغرافية بالوســـائل الفوتوغرامتريـــة، يمكن أيضاً قياس أو استنتاج وتسجيل ارتفاعات النقاط الواقعـــة علـــى المقـــاطع العرضية للمسار المعتمد باستخدام أدوات مساحة جوية خاصة ملحقـــة بأجـــهزة الرسم الفوتوغرامترية ، على سبيل المثال الأداة المسماة "Profilescope" .

4 – مرحلة التوقيع على الطبيعة للمسار المعتمد

(Location Survey and Staking of the Highway Elements)

تتعلق هذه المرحلة بتعيين حدود الاستملاك (Right of Way) لمسار الطريق المعتمـــــد وتوقيع عناصرا لطريق الرئيسة على الطبيعة بما في ذلك العناصر الانشائية الخاصة بمواقـــع وحدود المنشآت المائية وأوتاد المناسيب والمنحنيات والتقاطعات والتفـــاصيل الأخـــرى المتعددة .

مســـائل

1-2 تعتبر المرحلة الاستطلاعية مرحلة البحث عن المعلومات ، مـــاهي مصـــادر هـــذه المعلومات ؟

2-2 على ماذا يعتمد نجاح الاختيار لمسار من المسارات المقترحة ؟

3-2 ماهي العوامل المقيدة (Constraints) للمصمم في بحثه عن الخيارات المناســـبة لمســـار طريق معين؟

4-2 ماهي الأمور الأساسية التي يتوجب على هيئات ومؤسسات التخطيط لشبكـــات الطرق القيام بها قبل الإيعاز ببدء الدراسات الاستطلاعية لمشروع طريق معين ؟

5-2 رتّب المراحل الأساسية لإنجاز مشروع طريق معين .

6-2 أذكر الخطوط العريضة للمرحلة الاستطلاعية (Reconnaissance Stage) .

7-2 ما هي أهم الأمور الأساسية المتعارضة التي يتوجب على المهندس المصمم أن يوفـــق بينها ؟

8-2 ما الذي يتوجب عمله في غياب الخرائط الأساسية (Base Maps) لمنطقة المشروع ؟

9-2 ما هي أهم العوامل المؤثرة في المرحلة الاستطلاعية ؟

10-2 أذكر ثلاثة من أهم العوامل المؤثرة بشكل رئيسي على زيادة التكلفـــة للأعمـــال الترابية في مشاريع الطرق ؟

11-2 علقّ على أهمية دراسة الخرائط الجيولوجية والهيدرولوجيـــة وخرائـــط التربـــة في مشاريع الطرق.

12-2 علق على دور كل من :

حق المرور (Right-of-Way)

الصيانة المستقبلية (Future Maintenance) ، في زيادة تكاليف إنشاء مشاريع الطرق .

13-2 ما هي الأمور التي يتوجب على الفريق المصمم مراعاة مصلحة الجمهور فيها قبـــل اتخاذ القرار النهائي بشأن مسار معين يمر عبر أو بجوار مناطق حضرية ؟

2-14 عدّد أنواع الخرائط الأساسية التي تساهم في تشكيل قاعدة هامة للبيانات التي يستند إليها في مختلف مراحل التصميم وخصوصاً في مرحلة الاستطلاع والدراسة الأولية .

2-15 بماذا تنصح في سبيل استغلال لكافة للعلومات المجمعّة خلال مراحل التخطيط والدراسة الأولية والتصميم ؟

2-16 ما هي تكلفة إنتاج مخطط مساحي طبوغرافي مقياس (1/1000) بوسائل المساحة الفوتوغرامترية؟

2-17 أذكر مزايا استخدام للمخططات والخرائط الطبوغرافية في أعمال تخطيط وتصميم مسارات الطرق ؟

2-18 أذكر مزايا استخدام الصور الجوية والخرائط الصورية في أعمال تخطيط وتصميم للمسارات .

- 3 -

المراحل المساحية الرئيسة

في تصميم الطرق

SURVEYING STAGES OF ROAD DESIGN

3 – المراحل المساحية الرئيسة في تصميم الطرق :

3 - 1 – مقدمة :

تشتمل الأعمال المساحية التي تتطلبها دراسة طريق معين على المراحل الرئيسة التالية :

- أعمال استطلاعية لغايات التعرف على شريط الأرض الذي سيمر عبره الطريق موضوع الدراسة بالإضافة إلى تحديد مواقع النقاط المساحية المرجعية (مناسب واحداثيات أفقية) ضمن أو بجوار شريط الأرض هذا .
- أعمال مساحية أولية تؤدي إلى وضع مخططات شاملة تؤدي إلى اختيار محاور أولية وغير نهائية لغايات المفاضلة بين محور وآخر .
- أعمال مساحية نهائية ودقيقة محدّدة .

وفيما يلي شرح مفصل لهذه المراحل الثلاث :

3 - 2 مرحلة الأعمال الاستطلاعية (Reconnaissance Studies) :

تتلخص الغاية من هذه المرحلة في تحديد شريط (أو أكثر من الأرض) يحقق غايات وأهداف الطريق الفنيّة والاقتصادية. يتم هذا بالقيام بجولات استطلاعية متعددة لفريق من المهندسين المتخصصين باستخدام المركبات المناسبة وفي أحيان كثيرة طائرة مروحية (حسب أهمية الطريق وطبيعة المنطقة الطبوغرافية)، بالإضافة إلى السير على الأقدام وركوب الخيل في بعض الأجزاء الصعبة... إلخ . ومن المساعد والمهم جداً اصطحاب الخرائط المتوفرة للمنطقة وكذلك الصور الجوية وبعض أدوات التجسيم المناسب لغايات تسهيل عملية التعرف على الطبيعة. من شأن هذا كله أن يعين في البحث على الطبيعة عن الأماكن المناسبة لإمرار الطريق منها والمفاضلة بين خيار وآخر [م34] .

من الأمور التي يتوجب استقصاؤها في هذه المرحلة، الأهمية الاقتصادية للطريق، الخدمات التي يقدمها الطريق أو/ ويساهم في تطويرها، المزايا السياحية والبيئية، ميول الأرض التي سيخترقها الطريق، الأعمال الإنشائية التي سيتطلبها المشروع، بالإضافة إلى معلومات فنية (جيولوجية وهيدرولوجية) يمكن استنباطها من الخرائط والصور الجوية

المتوفرة وربما أيضاً من التقارير الفنية والبيانات الاحصائية المتعددة التي قد تتوفر عن منطقة المشروع والمشاريع المشابهة أو/ و المجاورة .

إن مثل هذه التحريات الميدانية قد تقود أو تؤدي إلى تحديد شريط أو أكثر يوصي القيام بإجراء مسح طبوغرافي شامل لها بهدف إنتاج للمخططات وللقـــاطع والرســـومات والجداول المعلوماتية المختلفة والتي يتم على أساسها (بالدراسة والتحليل والمقارنة) اختيار محور المشروع النهائي . يصار عادة إلى وضع علامات مناسبة علـــى المحـــاور التقريبيـــة المقترحة للطرق الممكن إمرارها من هذه الأشرطة .

اختصاراً وتسهيلاً وزيادة في فعالية مرحلة الأعمال الاســـتطلاعية هـــذه، يلجـــأ المهندسون المصممون عادة إلى البحث عن كل ما يتوفر من خرائط وصور جوية وتقارير ومعلومات حول المنطقة المراد إمرار الطريق منها للإستناد إليها في إجراء دراســـة أوليـــة تؤدي ربما إلى حلول واقتراحات تقريبية لمسار الطريق . تكون مقاييس الخرائط والصـــور الجوية المطلوبة في هذه المرحلة صغيرة ، أي : 1/50 000 وأصغر .

من بين المعلومات الأساسية التي يمكن استنباطها مـــن الخرائـــط والصـــور (ذات المقاييس الصغيرة) في هذه المرحلة الاستطلاعية ، نذكر [م45] :

- الميول من خلال خطوط الكنتور .
- الأجزاء التي لاتحتاج إلى استطلاع ميداني لثبات عدم صلاحيتها لمرور الطريق منـــها (مستنقعات، انحدارات شديدة ، قابلية عالية للانزلاق، وعورة شديدة، وغيرها مـــن الأجزاء غير الصالحة فنيّاً لإمرار الطريق منها .
- مواقع العبارات بمختلف أشكالها (الأنبوبة والصندوقيـــة، منفـــردة ومتعـــددة ..إلخ) والجسور لاجتياز الوديان والأنهار .
- الشريط أو الأشرطة المطلوب استطلاعها على الطبيعة ومن ثم إجراء المسح الطبوغرافي الشامل لها لاستطلاع أو بالأحرى لاختيار المحاور والمفاضلة فيما بينها بهدف الوصول إلى المسار أو المحور النهائي.

- بعد توفر المعلومات الأولية المستقاة من الخرائط والصور الجوية بالإضافة إلى مصادر المعلومات الأخرى والتي تمثل بمحملها مرشداً ودليلاً أولياً في عملية الاستطلاع الميداني.

من خلال عملية الاستطلاع الميداني (التي تعقب أعمال الدراسة المكتبية للخرائط والصور ومصادر المعلومات الأخرى كما ذكرنا آنفاً)، يمكننا تحقيق الأمور التالية :

- حذف ، إضافة، تعديل، تصحيح أية معلومات مستقاة من الخرائط والصور تتناقض مع واقع الحال على الطبيعة .
- تحديد بشكل أدق للشريط أو للأشرطة التي يتوجب إجراء مسح طبوغرافي شامل لها. يراعى تخطيط حدود هذه الأشرطة على خريطة أو صورة (أو مجموعة صور على شكل خريطة تصويرية Photo Map) بمقياس صغير إذا كانت متوفرة.
- تقدير الميول بشكل أدق باستخدام أدوات بسيطة مثل الكلينوميتر أو الابني ليفل (Abney Level).
- البحث عن نقاط الضبط الأفقية والرأسية (أي النقاط الجيوديسية معلومة الاحداثيات والمناسيب المتوفرة ضمن أو/ وبجوار الشريط أو الأشرطة المقترحة أو الممكنة لغايات تدقيق الأعمال المساحية الأولية والنهائية اللاحقة وكذلك لربط احداثيات مخططات الطريق بإحداثيات الشبكة العامة للدولة. في عملية البحث عن هذه النقاط ، يستعان بدوائر المساحة الرسمية ذات العلاقة لاستلام أرقام وكروكيات (Sketches) وعناوين ومواقع وإحداثيات هذه النقاط بالإضافة إلى أية معلومات أخرى قد تساعد في البحث عن والتحقق من هذه النقاط المرجعية (Horizontal and Vertical Control) .

في أغلب الأحيان ، تكون النقاط المساحية المرجعية (نقاط الضبط الأفقية والرأسية المأخوذة من دوائر المساحة الرسمية) قليلة أو/و بعيدة عن الشريط (أو الأشرطة) المقترح. من أجل ذلك يلزم تكثيف هذه النقاط وذلك بإنشاء مجموعة كافية من النقاط على طول الشريط استناداً إلى النقاط المساحية المرجعية (الجيوديسية البعيدة نسبياً) [م44]

يجري اختيار أماكن نقاط الضبط الأفقية في مواقع ثابتة ومشرفة (على رؤوس التلال المجاورة)ما أمكن ذلك وفي للمواقع الثابتة خارج الجزء المتوقع أن تشمله الأعمال الترابية (أعمال الحفر والردم).أمّا نقاط الضبط الرأسية فيراعى اختيار أماكنها في المواقع المستوية (المنبسطة) ما أمكن خارج حدود الأعمال الترابية مع ملاحظة أنه يمكن اعتماد نقاط المساحة الأفقية كمرجعية للارتفاعات (للمناسيب) أيضاً إذا كانت مواقعها ملائمة (في مواقع مستوية وثابتة).

لا حاجة في هذه المرحلة إلى إجراء القياسات وحساب الإحداثيات الأفقية والمناسيب بل يكتفى بعملية الاختيار الجيد لعدد ومواقع النقاط الجديدة التي ستشكل الشبكة الأساسية التي ستستند إليها أعمال المسح الطبوغرافي في المرحلة اللاحقة. يجدر بالملاحظة أنه من المفيد في هذه المرحلة الاستطلاعية تحديد الطريقة والأسلوب الذي سيتبع في تعيين إحداثيات شبكة النقاط الجديدة كي يساعد ذلك في اختيار أفضل لوسائل تجسيد وإظهار هذه النقاط في الطبيعة .

يصار عادة إلى تجسيد نقاط المساحة المرجعية (الأفقية والرأسية) على شكل اسطوانات أو مكعبات خرسانية بأبعاد 50 × 50 × 50 cm تتوسطها أسياخ أو علامات معدنية مناسبة تشير إلى موقع النقطة بالتحديد ، يجري غرسها في الطبيعة بشكل جيد. كذلك يمكن كبديل للمكعب الخرساني غرس زاوية حديدية (أو قضيب ، سيخ من الحديد) في حفرة وإحاطتها بالخرسانة الممزوجة بالدبش وقطع الحجارة الصغيرة ثم يجري ردم ورص جوانب الكتلة الخرسانية بشكل جيد . يمكن أيضاً تجسيد النقطة المساحية في حالات الأراضي الصخرية على شكل مصلّب محفور في سطح الصخر بعمق مناسب (1 إلى 2 سم).

من الضروري وصف موقع كل نقطة بالنسبة للمعالم والتفاصيل المحيطة وأخذ قياسات (زوايا ومسافات) بين النقطة المساحية المعتبرة وثلاثة معالم (على الأقل) أو تفاصيل مجاورة (مسمار في صخرة كبيرة ثابتة، مسمار في شجرة، علامة على جدار أو

عمود كهرباء أو هاتف ... إلخ)-أذا لم تتوفر مثل هذه المعالم ، يصار عندها إلى غـــرس علامات مساعدة في محيط النقطة لاستخدامها كدليل في المستقبل.

أمّا عن تباعدات هذه النقاط المساحية المرجعية الجديدة (المعنية بالاستناد إلى نقاط الدولة المرجعية) فتتراوح بين (2) إلى (6) كيلومتر على طول كل شريط مقترح أن يمر منه محور الطريق. يجري في مرحلة لاحقة تأسيس مضلعات ضمن شريط الأرض وبحيث تربط بالنقاط المساحية المرجعية المذكورة أعلاه لغايات التحقق والتدقيق. إن الغاية من إنشـــاء هذه المضلعات هو تكثيف أكثر لنقاط المساحة التي ستلزم لأغراض المســح الطبوغــرافي التفصيلي لاحقاً .

كتوثيق لنتائج دراسة الخرائط والصور الجوية ذات المقاييس الصغيرة، بالإضافة إلى كافة البيانات والمعلومات والتقارير الأخرى المتوفرة ، إلى جـــانب أعمـــال الاســـتطلاع الميداني، يتوجب إنجاز الأمور التالية :

1 - إظهار حدود الشريط أو الأشرطة المقترح شمولها بالمســح الطبوغــرافي لأغــراض الدراسة وذلك على خريطة خطية عادية (Line Map) أو خريطة تصويرية (Photo Map) ذات مقياس مناسب (صغير يتراوح عادة بـــين 1/25000 و 1/250000). لاحـــظ أن عرض الشريط الواحد قد يصل في هذه المرحلة إلى عشرات الكيلومـــترات وربمـــا ثلث طول الطريق إذ يعتمد هـــذا علـــى الطبيعـــة الطبوغرافيـــة والجيولوجيـــة والهيدرولوجية إلى جانب المستلزمات الخدماتية والتعليمية والصحية والاقتصاديـــة والأمنية والتطلعات المستقبلية للمنطقة التي سيمر منها الطريق .

2 - تقرير يصف بإيجاز طبيعة الشريط أو الأشرطة المطلوب شمولها بالمسح الطبوغرافي.

3 - جـــدول بأرقام النقاط المرجعية التي تم التأكد من وجودها ضمن أو بجوار الشريط أو الأشرطة المقترحة وذلك لغايات الحصول على إحداثياتها و/أو مناســـيبها مـــن الدوائر المساحية الرسمية ذات العلاقة (إذا لم يكن قد تم الحصول عليـــها ســـابقاً) بالإضافة إلى الأوصاف التفصيلية لهذه النقاط للرجوع إليها مستقبلاً. كـــذلك إعداد جداول بأرقام وأوصاف النقاط المرجعية الجديدة .

4 – مخطط بمقياس صغير مناسب يبين أماكن نقاط المساحة المرجعية الجديدة وكذلك نقاط المساحة المرجعية الجديدة وكذلك نقاط المساحة المرجعية الأساسية العائدة للدولة والتي تم العثور عليها أو تحديدها على الطبيعة أثناء المرحلة الاستطلاعية. إن من شأن هذا أن يساعد في تحديد النقاط المرجعية الأساسية التي ستستخدم في تعيين احداثيات و/أو مناسيب النقاط المساحية الجديدة .

5 – وصف للطريقة أو البرنامج المساحي الذي سيستخدم لاحقاً لتعيين الاحداثيات والمناسيب للنقاط المرجعية الجديدة .

3-3 مرحلة الدراسة المساحية الأولية :

يأتي في مقدّمة الأعمال المساحية التي يتم إنجازها في هذه المرحلة ، إجراء مسح طبوغرافي شامل للشريط أو الأشرطة المقترحة أو المعتمدة مبدئياً استناداً إلى نتائج مرحلة الاستطلاع الأولية. الغاية الرئيسية من هذا المسح هي إنتاج مخططات طبوغرافية تفصيلية مقياس (1/5000) إلى (1/10000) بفترة كنتورية تتراوح بين (1 m) إلى (5 m) وسنوضح المواصفات المطلوبة في جدول خاص لاحقاً .

يجب أن تكون دقة وشمولية العمل المساحي في هذه المرحلة بحيث تسمح بتعيين أو اختيار محور الطريق الأفضل الذي يمكن أن يمر من خلال كل شريط . من أجل تحقيق ذلك يجري عادة قياس وحساب وتصحيح إحداثيات وارتفاعات كافة النقاط المساحية المرجعية الجديدة التي جرى إنشاؤها ضمن كل شريط مقترح وذلك وفق إحدى الطرق التي سترد تفصيلاتها لاحقاً . يجدر بالذكر أنه لابد هنا من أخذ قياسات فائضة تسمح بإجراء عمليات التحقق والتعديل اللازمة . كذلك لابدّ من الاعتناء بهذه النقاط المرجعية لأنها ستخدم متطلبات أساسية أخرى لاحقة في مرحلة التصميم النهائية وفي مرحلة التنفيذ [م34] [م45] .

من بين أهم الطرق المستخدمة في تعيين إحداثيات النقاط المرجعية الجديدة نذكر بشكل مختصر ما يلي ، وسنشرح معظمها بشكل مفصّل في الفصل السادس .

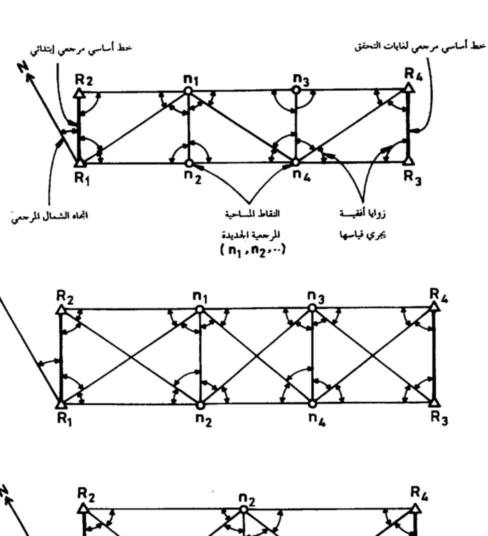
3-3- 1 طريقة شبكة المثلثات (Triangulation Network) :

هنا يتم ربط النقاط المرجعية الجديدة مع بعضها بجعلها رؤوساً لشبكة من المثلثات المتصلة على طول الشريط المعتبر من الأرض . تبدأ هذه الشبكة بخط أساسـي ابتدائـي يتصل بين نقطتين مرجعيتين معلومتي الاحداثيات (من النقاط المساحية المرجعية الجيوديزية العامة للدولة) وتنتهي بخط أساسي آخر عند نهاية الشبكة وله نفس مواصفـات الخـط الأساسي الابتدائي من حيث المواصفات . يمكن أن يتخلل هذه الشبكة أكثر من خـط أساسي مرجعي لغايات التحقق وزيادة الدقة خصوصاً عندما تمتد هذه الشبكـة علـى مسافة شاسعة (عشرات الكيلومترات)، الشكل رقم (3-1). تقاس هنا الزوايـا الأفقيـة لجميع مثلثات الشبكة أو جميع أضلاع المثلثات أو جميع زوايا وأضلاع المثلثات. يراعى أن لا تكون زوايا المثلثات حادة جداً (أكبر من 20°) وأن تقاس بدقة (لأقرب 1 ثانية). أمـا الأضلاع فتقاس أيضاً بدقة ولأقرب 1 مم باستخدام أجهزة قياس المسافات الألكترونية .

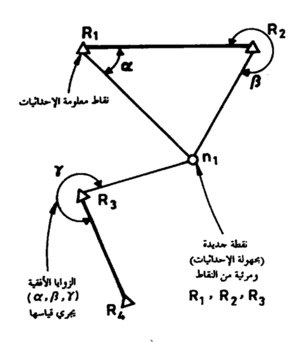
الآن واستناداً إلى الخط الأساسي المرجعي الابتدائي والذي يصـل بـين نقطتـين معلومتي الاحداثيات بالإضافة إلى الزوايا الأفقية و/أو أطول الأضلاع لكل المثلثات يمكن استنتاج (اشتقاق أو حساب) إحداثيات النقاط المساحية المرجعيـة الجديـدة (رؤوس أو أركان المثلثات). كذلك بالاستناد إلى الخطوط الأساسية المرجعية المتخذة كخطوط تحقيق (Check Base) يمكن التحقق من صحة ودقة الإحداثيات المسحوبة.

3-3-2 طريقة التقاطع الأمامي (Intersection Method) :

في هذه الطريقة وفي سبيل تعيين إحداثيات نقطة مساحية مرجعية جديدة، يستعان بأربع نقاط مجاورة معلومة الإحداثيات (من شبكة النقاط المرجعية الأساسية، على سبيل المثال) ويجري قياس ثلاث زوايا أفقية من ثلاث نقاط باتجاه أو نحو النقطة المجهولة، شكل (3-2). يجري الآن تطبيق معادلات رياضية معينة لاشتقاق إحداثيات النقطـة الجديـدة (مجهولة الإحداثيات)، كما سنوضح ذلك في فصل خاص لاحق . تستخدم هذه الطريقة (غير الاقتصادية والطويلة نسبياً) عند عدم إمكانية أو صعوبة تطبيق الطرق الأخـرى أو بشكل خاص عندما لا نتمكن من تثبيت الجهاز في النقطة الجديدة. في حالـة إمكانيـة تثبيت الجهاز في موقع النقطة المجهولة (n_1) وعدم وجود عوائق أخرى ، ينصح بتطبيـق طريقة التقويم (أي طريقة التقاطع العكسي) التالية لأنها أكثر سهولة واقتصاداً .



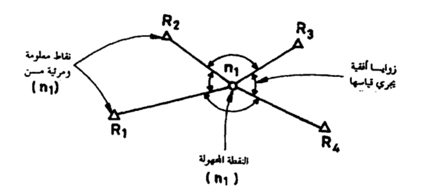
شكل 3 - 1 نماذج من شبكات مثلثات



شكل 3 - 2 طريقة التقاطع الأمامي

3-3 - 3 طريقة التقاطع العكسي (Resection Method) :

تتلخص هذه الطريقة ، شكل (3-3) بتحديد أربع نقاط (على الأقل) مرجعية معلومة الإحداثيات في الطبيعة (R_1 , R_2 , R_3) وبحيث تكون مرئية جميعها من النقطة الجديدة مجهولة الإحداثيات. بمعلومية إحداثيات هذه النقاط الأربع بالإضافة إلى قياس الزوايا الأفقية من النقطة المجهولة (n_1) نحو النقاط المعلومة، يمكن استنباط إحداثيات النقطة المجهولة وإجراء التحقيق اللازم وذلك بتطبيق للعادلات الرياضية ذات العلاقة والتي سنأتي على اشتقاقها في فصل خاص لاحق. من الواضح أن هذه الطريقة سهلة ولا تحتاج إلاّ إلى تثبيت الجهاز مرّة واحدة (في موقع النقطة المجهولة) كما أن بعد النقاط المعلومة (شريطة رؤيتها من النقطة المجهولة) عن موقع الجهاز لا يشكل عائقاً .



شكل 3-3 طريقة التقاطع العكسي

ملحوظات على طريقة التقاطع العكسي :

1 – يراعى عدم وقوع النقاط المعلومة والنقطة المجهولة على محيط دائـــرة واحــدة (أو تقريباً هي كذلك) وذلك كي لا يصبح الحلّ متعذراً أو غير دقيق .

2 – في الغالــب نطبق هذه الطريقة عندما تكون النقطة المجهولة معزولة وبعيدة عـــن نقاط مرجعية معلومة .

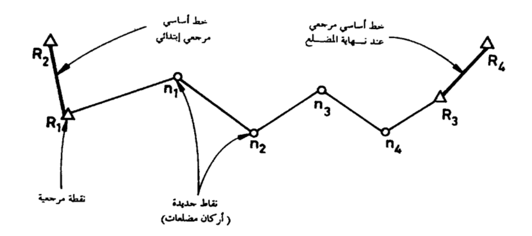
3 – قد تكون النقاط المعلومة المستخدمة في الحل (غالباً) عبارة عن نقـــاط مـــن غـــير الممكن الوصول إليها وتثبيت الجهاز فوقها كخزانات الميـــاه وصلبـــان الكنـــائس ورؤوس الأبراج والهوائيات وغيرها .

3-3- 4 إنشاء مضلعات ضمن شبكة نقاط المساحة المرجعية :

بعد تكثيف النقاط المساحية المرجعية يصار إلى تحشيتها وإغنائها بنقاط مســـاحية إضافية على شكل مضلعات يجري إغلاقها على ذات النقاط المرجعية ، شكل (3 - 4). يراعى أن يتم تجسيد مختلف أشكال العلامات المساحية (المرجعية وأركـــان المضلعـــات)

بشكل جيد ويتناسب من حيث الثبات والديمومة والنوعية مع مرتبة النقاط المساحية من حيث أهميتها ودرجة مرجعيتها (النقاط الجيوديزية العامة للدولة مثلاً تأتي في المقدّمة).

من الأشكال التي يمكن أن تأخذها علامة للمساحة في الطبيعة ، نذكر (للمزيد من التفاصيل في الفصل السادس) :



شكل 3 - 4 أركان مضلع تستند وتغلق على نقاط مرجعية جيوديزية أو أخرى دقيقة لغايات تعين إحداثياقا وإجراء التعديل اللازم عليها

أ - زوايا حديدية بطول (80 cm) لا يظهر منها فوق سطح الأرض أكثر من (5-8 cm) .

ب - حفرة بعمق وقطر (40 - 50 cm) مملوءة بالخرسانة يتوسطها قضيب حديدي أو زاوية حديدية أو علامة معدنية مناسبة .

ج - اسطوانة خرسانية قطر (15 cm) إلى (20 cm) وارتفاع (30 cm) إلى (40 cm) توضع في حفرة مناسبة وترك جوانبها جيداً .

د - مسمار قطر (6 mm) أو أكبر وبطول (15 cm) تقريباً يغرس في شق صخري .

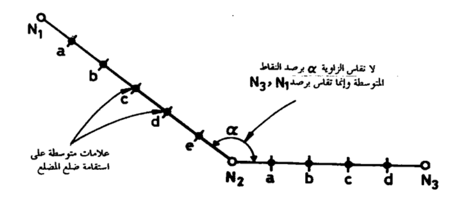
هـ- صليب محفور على سطح صخري مستقر ومستمر ضمن منطقة صخرية .

وفي سبيل إنشاء هذه المضلعات وإنجاز الحسابات وعمليات التدقيق والتعديل بشكل جيد لابد من مراعاة الأمور التالية :

1 - تختار أركان (رؤوس أو ذروات) المضلعات بحيث تشرف على أكبر قدر ممكن من التفاصيل التي ستجري تحديد مواقعها وتمثيلها بمقياس مناسب لاحقاً .

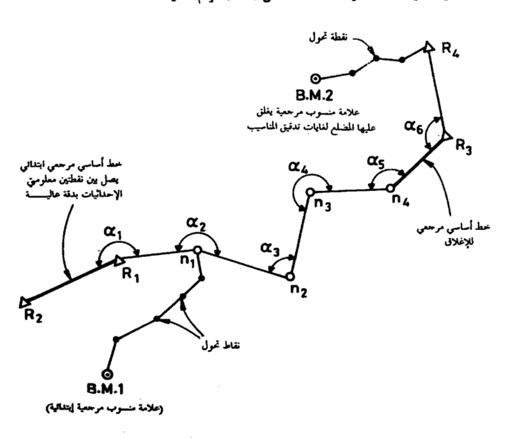
2 - تتراوح أطوال أضلاع المضلعات بشكل عام بين المائة متر والخمسمائة متر وفقـــاً لتضاريس الأرض (تزداد طولاً بنقصان الميـــل في ســـطح الأرض) ونـــوع الأداة المستخدمة في قياس المسافات (تزداد الأطوال باستخدام أجهزة القياس الألكترونية، أي الدستومات EDM أو أجهزة المحطة الشاملة (Total Station). في حالـــة الأراضـــي المنبسطة تماماً ، يمكن زيادة أطوال الأضلاع أكثر من القيم السابقة وذلك باختيار وتجسيد نقاط على استقامة ضلع المضلع تتباعد بمسافات تتراوح بـــين (100m) إلى (200m) ، شكل (3 - 5) حيث نختصر قياس زوايا . إن من شأن غرس هذه العلامات المتوسطة على استقامة كل ضلع من أضلاع المضلع (إن أمكن ذلك) وحســـاب إحداثياتها، أن تساعد في أعمال المسح التفصيلي اللاحق (أي تحديد مواقع المعـــالم والتفاصيل المجاورة).

3 - تقاس الزوايا والمسافات التي تسمح بتعيين إحداثيات وارتفاعات جميع نقاط أركان المضلعات وبالدقة التي تتناسب مع هذه المرحلة والتي سنبينها في جـــدول لاحـــق. يجدر بالذكر أنه لتعيين ارتفاعات نقاط المساحة المختلفة (المرجعية ونقاط أركان



شكل 3 - 5 غرس نقاط متوسطة على استقامة أضلاع المضلع

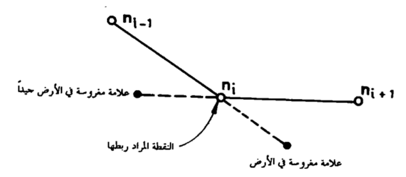
المضلعات) نستخدم أسلوب التسوية المثلثية التي سيتم شرحها بشكل مفصل لاحقاً. ومع ذلك يفضل استخدام التسوية المباشرة لتعيين ارتفاعـــات النقـــاط المســـاحية المختلفة خاصة ذروات (رؤوس) المضلعات إذا أريد استخدامها كنقاط مرجعيـــــة أثناء مرحلة التنفيذ. ولابد هنا من إجراء التعديل اللازم على الارتفاعات وذلـــــك بالابتـــداء بنقطة معلومة المنسوب والانتهاء بنفس النقطـــة أو بـــأخرى معلومـــة المنسوب أيضاً.يعتمد إختيار طريقة القياس ومدى الحاجة إلى إجــــراء التعديـــلات (التصحيحات على هذه المناسيب المحسوبة، على مدى الدقة المطلوبة الـــــواردة في جدول المواصفات ذي العلاقة ، شكل (3 - 6) ،[م46] .



شكل 3 - 6 إنشاء المضلعات بحيث يجري تعيين وتدقيق وتعديل إحداثياتها وارتفاعاتها (مناسيبها) استناداً إلى نقاط مرجعية معلومة الإحداثيات والمناسيب (بعضها أو كلها)

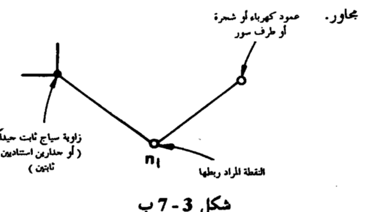
4 - يجري ربط كافة نقاط للساحة(المرجعية الجديدة)ورؤوس المضلعات بنقاط مجـــاورة يجري غرسها وتحديد أماكنها بدقة وذلك لغايات الاستدلال بها مستقلاً أو إعـــادة تأسيسها عند فقدانها وذلك وفق واحد أو أكثر من النماذج التالية، شكـــل(3 - 7)، (للمزيد من التفاصيل في الفصل الثالث).

أ - بقياس مسافتين على استقامة ضلعي للمضلع المتقاطعين في النقطة المراد ربطها، (شكل 3-7- أ) ، نحو علامتين مغروستين بشكل جيد في الأرض .



شكل 3 - 7 - أ

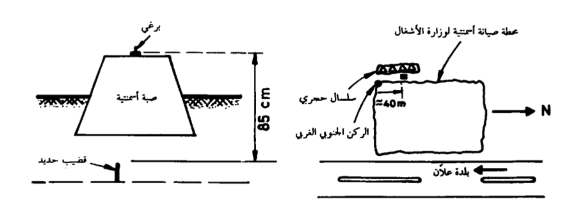
ب - بقياس مسافتين من ركن المضلع (أو النقطة المعتبرة) إلى علامتين محددتين من معلمين رئيسيين مجاورين ،(شكل 3 - 7 ب)، على سبيل المثال نقطة محــــددة جيداً على عمود كهرباء أو مسمار في شجرة ثابتة كبيرة مجاورة أو مســـمار في الفاصل بين صفي حجر من بناء مجاور أو مسمار مغـــروس في رصيـــف مجاور.



شكل 3 - 7 ب

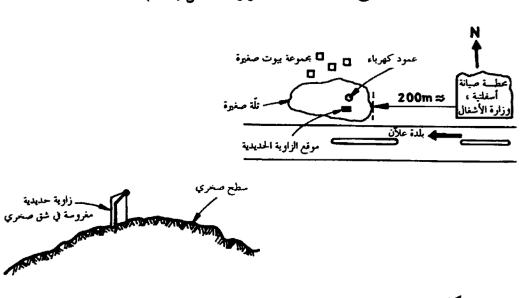
ملحوظة : كثيراً ما يجري قياس أكثر من مسافتي ربط باتجاه علامات مغروسة أو معـــالم ثابتة زيادة في الحيطة وبشأن وصف هذه النقاط المساحية فلابّد أيضاً مـــن القيـــام بذلك بشكل دقيق وجيد وبإرفاق كروكي واضح وجيد كي لا نقـــع في الخطـــأ باعتماد نقطة مغايرة (مختلفة خاطئة) . فمثلاً نقول :

- النقطة رقم (1513) عبارة عن صبة أسمنتية طولها (0.5m) وعرضهـــــا (0.5m) وارتفاعها (0.75m) مدهونة باللون الأبيض على سطحها وفي الوسط برغي (أو نقول، حسب الواقع ، صفيحـــة مربعة صغيرة يتوسطها علامة (+) ...إلخ) وأسفل هذه الصبة بحدود (10cm) يوجد قضيـــب حديد قطر (18mm) مثبت بأسمنت في وضع رأسي ... إلخ، شكل (3 - 8) . أما موقـــع هـــذه النقطة : قبل دخول قرية أو بلدة علاّن توجد محطة صيانة أسفلتية لوزارة الأشغال العامة على يمين الشارع باتجاه البلدة. ادخل ساحة هذه المحطة حتى تصل الركن الجنوبي الغربي من المحطة . عند هذا الركن اتجا شمالاً مسافة (40m) تقريباً حيث توجد النقطة بجوار سلسال عريض .



شكل 3 - 8 أحد أساليب وصف نقطة مساحة مرجعية في الطبيعة

• النقطة رقم (1514) عبارة عن زاوية حديدية مغروسة في شق صخري عريض يبرز منها (15cm) فوق سطح الصخر. أمّا موقع هذه الزاوية الحديدية ، فبعد محطة الصيانة الأسفلتية اتجه غرباً عبر الشارع الرئيسي (المؤدي إلى بلدة علاّن) لمسافة مائتي متر تقريباً حتى تصل إلى مجموعة بيوت صغيرة على يمين الشارع وحوار تلة صغيرة يظهر على سطحها عمود كهرباء واحد. إذهب إلى هذا العمود حيث تقع الزاوية الحديدية بجواره ، شكل (3-9) .



شكل (3 - 9) نموذج آخر لوصف نقطة مساحة مرجعية في الطبيعة

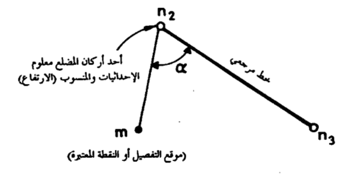
ملحوظة :

إن وضوح الكروكي ودقة الوصف وحسن اختيار العلامات المجاورة (لغايات الربط) من الأهمية بحيث تعكس خبرة ومهارة المسّاح نفسه .

3 - 3 - 5 المسح الطبوغرافي الشامل :

يجري الآن تحديد مواقع ومناسيب مختلف التفاصيل الاصطناعية (طرق، أبنية، جدران ، حدائق ، خطوط هاتف وكهرباء ، أبراج وأعمدة كهرباء ، مواقع عبارات، مناهل، ساحات، .. إلخ) استناداً إلى أقرب ضلع من أضلاع المضلعات المنتشرة في كافة أجزاء المنطقة المراد مسحها طبوغرافياً (شريط الأرض المقترح إمرار الطريق منه). إن كل ضلع من أضلاع المضلعات يخدم كخط أساسي مرجعي يُحدَّدُ استناداً إليه موقع

كل تفصيل أو معلم مجاور (يمينا أو يساراً) . فيما يتعلق بتحديد مواقع هـــذه التفـــاصيل، يفضـــل اللجوء إلى أجهزة القياس الالكترونية وخصوصاً جهاز المحطـــة الشاملـــة (Total Station) الذي يقيس الزاويتين الأفقية والرأسية بالإضافة إلى المســـافتين المائلـــة والأفقيـــة (وبالتالي إحداثيات مختلف النقاط من خلال برمجة وتغذية معلومات أساســـية معينـــة) في وقت واحد . على سبيل المثال ، في الشكل (3 - 10) إذا كان الضلع (n_2 n_3) يمثـــل أحـــد أضلاع مضلع من المضلعات للمنشأة وكانت النقطة (m) تمثل موضع منهل معين بجوار هذا الضلع ، فعندها يمكن تحديد موقع هذا المنهل أو النقطة الممثلة له (m) بتثبيت جهاز المحطة الشاملة في النقطة (n_2) وبعد ضبط أفقية ومركزية الجهاز يجري قياس كل مـــن الزاويـــة الأفقية (α)والمسافة الأفقية (n_2 m) فيتحدد موقع النقطة (m) . وهكذا دواليك لتعيين نقاط أخرى ممثلة لمعالم متنوعة مثل (r) و (t) و (P) على يمين ويسار الضلع (n_2 n_3) الذي يمثل خطاً مرجعياً أساسياً بالنسبة لتحديد مواقع المعالم والتفاصيل المختلفة والمجاورة [م45] .



شكل 3 - 10

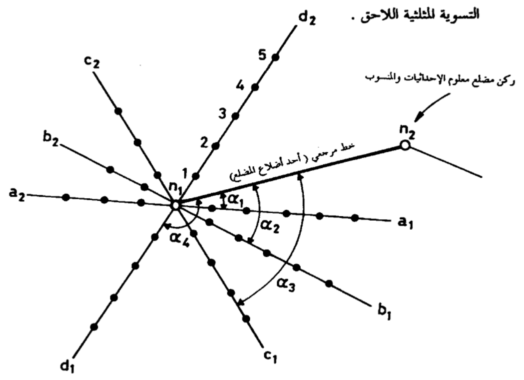
لاحظ أن القياس السريع للزاوية (α) وللمسافة (n_2 m) يســـمح وبســـهولة بحســـاب إحداثيات النقطة (m) ذلك لأن إحداثيات ومناسيب كافة أركان المضلعات (n_1, n_2, n_3,)

معلومة. كذلك يسمح الجهاز بتخزين هذه الاحداثيات من خلال جامع المعلومات (Data Collector) الملحق بالجهاز (جهاز المحطة الشاملة) يجري فيما بعد معالجتها وإخراجها حاسوبياً بالشكل المطلوب (أي رسم هذه المعالم والتفاصيل بمقياس مناسب ومن خلال رموز واصطلاحات مناسبة مبرمجة بشكل مسبق). بالطبع ، في حالة عدم توفر الأجهزة الالكترونية يمكن اللجوء إلى الأجهزة التاكيومترية دقة ولكنها كافية لمثل هذه الأغراض وفي هذه المرحلة .

فيما يتعلق بتعيين مناسيب عدد كافٍ من نقاط سطح الأرض لغايات رسم الخطوط الكنتورية وبالتالي تمثيل تضاريس هذا السطح (الارتفاعات والانخفاضات والميول في سطح الأرض المعتبرة) يمكن اللجوء إلى عدة أساليب باستخدام ، على سبيل المثال جهاز المحطة الشاملة. من بين هذه الأساليب ، نذكر [م45] :

1 – تعيين مناسيب نقاط واقعة على خطوط مستقيمة تصنع زاوية حادة (بفضل زاوية برقم مدوّر، أي إلى أقرب درجة أو غراد) مع أحد أضلاع المضلع (الخط الأساسي المرجعي المعتبر) . من الطبيعي أن نراعي وقوع هذه النقاط عند أماكن التغير في ميل سطح الأرض لتمثل الأرض تمثيلاً أميناً وخصوصاً في المناطق الوعرة وكبيرة ومتغيرة الميل. غير أنه يمكن ، في بعض الحالات التي تكون فيها الأرض وعرة جداً أو أن متطلبات الدقة ليست عالية ،جعل هذه النقاط على تباعدات متساوية من بعضها (من 5 إلى 20m حسب طبيعة الأرض، إذ تتناقص المسافات بازدياد الوعورة والعكس صحيح) وذلك تسهيلاً للعمل واختصاراً للوقت. على سبيل المثال في الشكل (3-11) الخطوط $(a_1\ a_2)$ ، $(b_1\ \ b_2)$ ، $(c_1\ \ c_2)$ تصنع زوايا أفقية $(\alpha_3, \alpha_2, \alpha_3)$مقيسة ومحددة مع أحد أضلاع المضلع. ليكن هذا الضلع هو $(n_1\ n_2)$ والنقاط هي (1, 2 , 3 , 4 , 5 ,...) مختارة على كل من أضلاع المضلع وفقاً لوجود كثافة التفاصيل والمعالم. بقياس الزوايا الأفقية التي تصنعها هذه الخطوط مع الخط الأساسي (n_1 , n_2) وقياس للمسافات بين الركن (n_1) وكل من هذه النقاط على مختلف الخطوط ، يمكن تحديد موقع (إحداثيات) كل نقطة. أما المناسيب لهذه النقاط فيجري بسهولة تعيينها أمّا بالتسوية المباشرة (جهاز التسوية Level) استناداً

إلى معرفتنا لمناسيب أركان أو ذروات المضلع (n_1 , n_2 , n_3...) أو بالتسوية غير المباشرة (التسوية المثلثية Trigonometric Levelling) وذلك بقياس زاوية رأسية ومسافة مائلـــة بالإضافة إلى معرفة ارتفاع مركز الجهاز القائس فوق ركن المضلع (n_1) وارتفـــاع مركز العاكس فوق النقطة المعتبرة (1 أو 2 أو 3 ...الخ) كما هو موضح في فصل التسوية المثلثية اللاحق .



شكل 3 - 11 اختيار النقاط لغايات تعين مناسيبها
وتحديد مواقعها ومن ثم رسم الخطوط الكنتورية

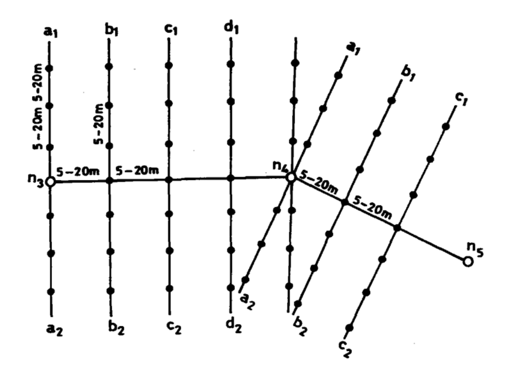
2 - كذلك يمكن اختيار النقاط الأرضية لتحديد مواقعها ومناســيبها لغايــات رســم الخطوط الكنتورية باتباع الخطوات التالية ، شكل (3 - 12) :

أ - نحدد العدد اللازم من النقاط على استقامة كل ضلع من أضـــلاع المضلـــع وبتباعدات (تعتمد على الدقة المطلوبة في رسم الخطوط الكنتوريـــة وعلـــى طبوغرافية الأرض) تتراوح بين (5 m) إلى (20m) .

ب - نقيم أعمدة من هذه النقاط على ضلع المضلع .

ج - نختار نقاطاً على كل عمود (على يمين ويسار ضلـــع للضلـــع) بتبــاعدات مناسبة (كالسابق من 5 إلى 20 m).

أمّا من حيث طريقة تحديد مناسيب هذه النقاط فيجري ذلك بأسلوب مشابه تماماً للأسلوب المتبع في الطريقة السابقة .



شكل 3 - 12 أسلوب آخر لاختيار النقاط الأرضية لغايات تحديد مواقعها ومناسيبها ومن ثم رسم الخطوط الكنتورية

أمّا طريقة الإخراج (التمثيل لمواقع التفاصيل وللمعالم وتحديد مواقع النقاط معلومة المنسوب لغايات رسم الخطوط الكنتورية) فتتلخص بالخطوات التالية :

أ - اختيار مقياس الرسم الذي يناسب هدف المرحلة المعتبرة (1/5000 إلى 1/10000) .

ب - رسم شبكة من الخطوط المتعامدة على لوحة مناسبة بتباعدات ثابتة مقدارها (10 cm) في الاتجاهين لتخدم كحملة (شبكة) إحداثيات مستطيلة متعامدة .

ج – ترقيم خطوط شبكة الإحداثيات السينية (Easting - Westing) والصادية (Northing - Southing) انطلاقاً من مبدأ إحداثيات يعطي قيمة تسمح بتوقيع (تنزيل) نقاط المثلثات والمضلعات ومختلف النقاط المساحية المرجعية على لوحة الرسم .

د – تنزيل (رسم أو تحديد موقع) النقاط المساحية المرجعية على اللوحة وذلك إمّا بالاستعانة بحاسوب (راسم آلي مناسب) أو باستخدام مساطر متعامدة .

هـ– تنزيل مواقع التفاصيل وللمعالم وكذلك النقاط المختارة لرسم الخطوط الكنتورية من خلال معرفة إحداثياتها (وبالتالي استخدام الراسم الآلي من أجل ذلك) أو باستخدام المسطرة والمنقلة كطريقة تقليدية من خلال معرفة المسافات والزوايا الأفقية (التي تصنعها الخطوط الخاصة بهذه المعالم والنقاط المختلفة مع الخطوط الأساسية المرجعية والتي هي بذاتها أضلاع المضلعات). ويراعي هنا ودائماً أخذ الملاحظات والكروكيات المدونة أثناء عملية المسح الميداني في دفاتر ميدانية خاصة (أو ضمن جامع المعلومات وفق كودات خاصة بهذه المعالم والنقاط المعتبرة المختلفة إذا كان جرى استخدام الحاسوب) بعين الاعتبار عند تنزيل هذه المعالم والنقاط أو إجراء التدقيق الشامل على المخطط المرسوم أو المنجز.

و – رسم خطوط الكنتور (منحنيات التسوية) بفترة كنتورية تلائم هذه المرحلة من حيث الدقة والمواصفات وكذلك من حيث الطبيعة الطبوغرافية وهي عادة تتراوح بين (1m) إلى (10 m) ويفضل أن لاتتجاوز (5 m) .

بهذا نكون في هذه المرحلة قد أنجزنا البنود الأساسية التالية التي يتوجب توثيقها بشكل مناسب كي تشكل أساساً معلوماتياً لدراسة واختيار أفضل مسار:

ز – مخطط بمقياس صغير (1/25000) يشتمل على كافة النقاط المساحية المرجعية العامة والجديدة بما فيها نقاط المضلعات وإبراز المسافات (وربما الزوايا بين الأضلاع) على أضلاع المضلعات وكذلك جداول بإحداثيات هذه النقاط وأية معلومات أخرى أساسية.

ح – مخططات طبوغرافية مقياس (1/5000) إلى (1/10000) لغايات بيـــان مختلـــف المعـــالم والتفاصيل الطبيعية والاصطناعية إضافة إلى تضاريس الأرض ممثلة بخطوط الكنتور (منحنيات التسوية) .

ط – مذكرة حسابية توضح بالتفصيل برامج حسابات إحداثيـــات النقـــاط المســـاحية المرجعية الجديدة وكذلك أركان المضلعات بالإضافة إلى تلك المتعلقـــة بحســـابات مواقع أو إحداثيات مختلف التفاصيل والمعالم والنقاط المشاركة في رســـم خطـــوط الكنتور. يمكن أن يكون الحفظ هنا للمعلومات والحسابات على شكـــل أقـــراص مغناطيسية يجري تفريغها حاسوبياً عند الحاجة .

ي – الدفاتر الخاصة بتدوين القراءات بجهاز التسوية (Level) إذا تم استخدامه .

ك –كافـــة المعلومات والكروكيات والملاحظات ذات العلاقة ومـــن بينـــها بطاقـــات الوصف (Description Cards) ، شكل (3 - 13) .

3 - 4 مرحلة الأعمال المساحية النهائية :

بعد أن يتم إنجاز المخططات الطبوغرافية وأعمال التأسيس للمساحية الأولية، يصبح بوسع الفريق المصمم استخدام هذه المخططات والمعلومات المساحية المختلفة في دراســـة مختلف المسارات الممكنة بهدف اختيار المسار الأمثل أو الأفضل. تتضمن هذه الدراســـة عادة رسم المقاطع الطولية لعدة مسارات لغايات تقديـــر كميات الأعمال الترابية مـــن حفر وردم،تحديد مواقع الجسور والعبارات وإعدادها وتقدير تكاليفها ... الخ. كذلـــك لابد للفريق المصمم أن يأخذ بعين الاعتبـــار مختلـــف النواحـــي البيئيـــة والاجتماعيـــة والاقتصادية والفنيّة التي سبق أن أشرنا إلى أهميتها في اختيار أو تفضيل مسار على آخر.

نبين فيما يلي أهم الأعمال المساحية التي يتوجب إنجازها في هذه المرحلة :

3 - 4 - 1 نقل المسار الأمثل من المخطط إلى الطبيعة :

بعد أن يتم اختيار المسار المفضل وتحديده بوضوح (رسمـــه) علـــى المخططـــات المساحية، يجري الآن نقله من المخطط إلى الطبيعة وتجسيده بشكل يضمن التنفيذ السليم وذلك وفق الخطوات الرئيسة التالية :

اسم المؤسسة : ----------------------------------

المرتبة : Order ----------------------------------

التسمية Designation ---------------------- K.S.U. 6

المنقطة Zone ----------------------------------

المكان Place ----------------------------------

سنة الإنشاء Year ----------------------------------

الإحداثي السيني X- Coord. --------------------------

الإحداثي الصادي Y- Coord. --------------------------

المنسوب Elevation Z - Coord. -----------------------

ملاحظات Remarks ----------------------------------

كروكي وإيضاحات

Sketch and Explanations

عمارة رقم (١) إسكان الزهراء

برج ساعة رادو

(K.S.U.6)

عمارة رقم (٢) إسكان الزهراء

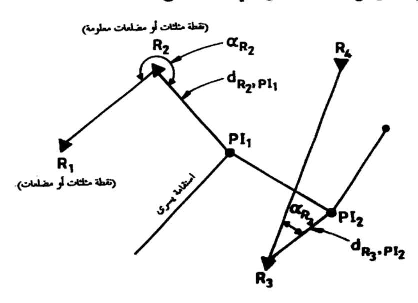
عمارة رقم (٣) إسكان الزهراء

شكل 3-13- مثال عن بطاقة الوصف

3-4-1-1- نقل نقاط التقاطع (Points of Intersections, PIs) :

يجري نقل نقاط تقاطع أزواج الخطوط المستقيمة المتتالية المشكلة لمسار الطريق المختار من المخطط إلى الطبيعة وتجسيدها بشكل ملائم وذلك على الشكل التالي [م45]:

يجري البحث على المخططات الطبوغرافية (المتضمنة بالطبع لنقاط المساحة المرجعية) عن أقرب نقطتين مساحيتين مرجعيتين (نقاط مضلعات مثلاً) لكل نقطة تقاطع (PI) لغايات تحديد العناصر الأساسية اللازمة لنقل هذه النقاط إلى الطبيعة . على سبيل المثال، لنقل نقطة التقاطع الأولى (أي : PI_1) نبحث على النقاط المساحية المرجعية المجاورة لها ولتكن (R_1) ، (R_2) ، شكل (3 - 14). حيث أن النقطتين المرجعيتين (R_2 , R_1) ظاهرتان على المخطط المساحي ومجسدتان في الطبيعة فيكفي أن نقيس على المخطط (مكتبياً باستخدام أدوات الرسم العادية) الزاوية الأفقية (α_{R_2}) والمسافة (d_{R_2},PI_1)لتحديد موقع نقطة التقاطع (PI_1) في الطبيعة وذلك على الشكل التالي (بعد أن يكون قد تم عمل حلول بقياسات الزوايا والمسافات الأفقية الخاصة بكل نقطة تقاطع خطين مستقيمين متتالين من مسار الطريق ، هذه القياسات مصدرها بالطبع المخطط وما ينطبق على (PI_1) ينطبق من حيث المبدأ على باقي نقاط التقاطع):



شكل 3 - 14 نقل نقطة تقاطع كل استقامتين متتاليتين من المسار إلى الطبيعة باستخدام المخططات المساحية

1 – بالاستعانة بالكروكيات وبطاقات الوصـــف الخاصة بالنقـــاط المرجعيـــة، يجـــري البحث عن النقطتين (R_1) ، (R_2) في الطبيعة .

2 – يؤتي بجهاز ثيودوليت ويجري تثبيته وضبطه رأسياً فوق النقطة (R_2) . تصفـــرّ الآن الدائرة الأفقية (عدادّ الزوايا الأفقية) ثم يلف المنظار باتجاه دوران عقرب الســـاعة بمقدار الزاوية (α_{R_2}). نقيس وفق خط النظر الحالي مســـــافة أفقيـــة مقدارهـــا (d_{R_2},PI_1) فتكون نقطة نهاية هذه المسافة المقيسة وفق الاتجاه الحالي للمنظار ممثلة لموقع نقطة التقاطع الأولى (أي : PI_1) .

3 – نختار معالم رئيسة مجاورة لنقطة الـــ (PI_1) ونقيس مسافات و/أو زوايـــا أفقيـــة لغايات وصف موقع هذه النقطة (عمل كروكي) وذلك لتسهيل عملية البحـــــث عنها مستقبلاً أو إعادة تثبيتها عند حصول إزاحة في موقعـــها أو اقتـــلاع لهـــا. الأشكال (3-15) و (3- 16) و (3 - 17) تبين بعض الأمثلة على أشكال الكروكيات وبطاقات الوصف .

4 – لتحديد ووصف باقي نقاط تقاطع أزواج الاستقامات المتتالية للمسار، نتبع نفس هذا الأسلوب .

ملاحظات هامة :

أ – إذا لم تتوفر للمعالم الرئيسة المناسبة بجوار نقاط التقاطع (ألـــ PI_s) لغايات وصفها، نقوم بغرس علامات مناسبة حولها بالعدد والكيفية المناسبة كما هو موضـــــح في الأشكال الخاصة بالكروكيات وبطاقات الوصف الواردة هنا .

ب – شرحنا أعلاه تحديد موقع نقطة التقاطع (PI_1) من خلال مســـــافة وزاويـــة (أي الطريقة القطبية) غير أنه يمكن أيضاً استخدام طريقة العمود والمسافة (خصوصاً إذا كانت الأرض منبسطة وقليلة العوائق والنقاط المساحية المرجعية قريبة من نقطـــــة التقاطع).

في هذه الطريقة ، نأتي بالمخطط المساحي ونتـــزل عموداً من (PI_1)علـــــى الخط الذي يصل بين النقطتين المرجعيتين(R_1) ، (R_2) ونقيس المسافة بين مسقط العمـــود

وإحدى النقطتين المرجعيتين أيهما أقرب.ولتحديد وتجسيد موقع(PI_1)في الطبيعة، نقيس المسافة التي سبق أن قيست على المخطط بين (R_1)، (R_2) ومن نهايتها نقيم عموداً (باستخدام إحدى الطرق ولو التقريبية منها، على سبيل المثال طريقة البرزما أو الموشور المرئي) بنفس الطول المقيس على المخطط فتكون نقطة نهاية العمود ممثلة لنقطة التقاطع (PI_1).على سبيل المثال ، في الشكل(3-18) لتحديد موقع(PI_1) في الطبيعة،يقاس على المخطط طول العمود PI_1, P النازل من (PI_1)على (R_1)، (R_2)) والمسافة القريبة (R_2,p)من النقطة (R_2) باتجاه (R_1) ونقيم العمود (p,PI_1) فتكون نقطة نهاية هذا العمود هي نقطة (PI_1).

جـ – يفضل أن تقاس المسافات القصيرة (لغاية خمسين متراً) بالشريط وما زاد عن ذلك بالدستومات (EDM) .

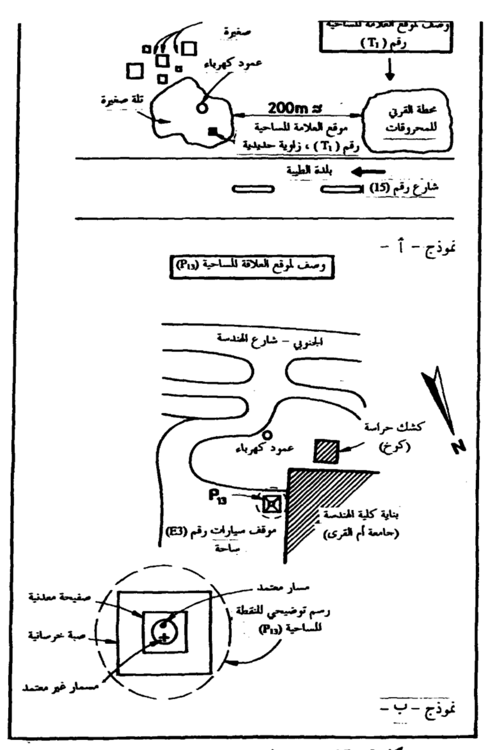
د – يمكن أيضاً تحديد مواقع نقاط التقاطع (الـ PIs) باستخدام جهاز المحطة الشاملة أو جهاز الدستومات على الشكل التالي، خصوصاً عندما تكون نقاط المساحة المرجعية بعيدة عن نقاط التقاطع :

1 – يجري قياس إحداثيات نقطة التقاطع (PI_1) من خلال المخطط وبالاستعانة بالشبكة التربيعية(شبكة المربعات الخاصة بالإحداثيات المرسومة على المخطط بنفس مقياس المخطط).

2 – يحسب سمت (أزموث) الخط الواصل بين أقرب نقطتين مرجعيتين إلى نقطة التقاطع، على سبيل المثال : R_2, R_1 ، شكل (3-14) وذلك على الشكل التالي :

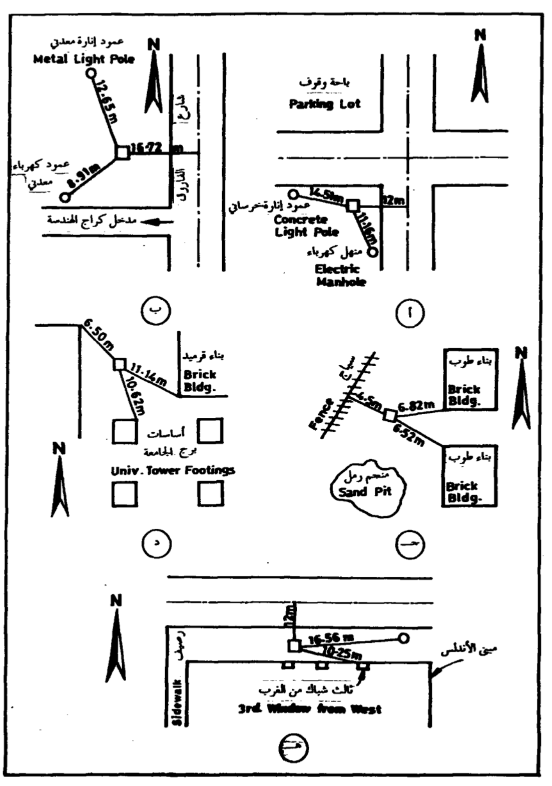
$$\alpha_{R_2 R_1} = \tan^{-1}[(X_{R_1} - X_{R_2}) / (Y_{R_1} - Y_{R_2})]$$

(لاحظ أن إحداثيات R_2, R_1 معلومتان).

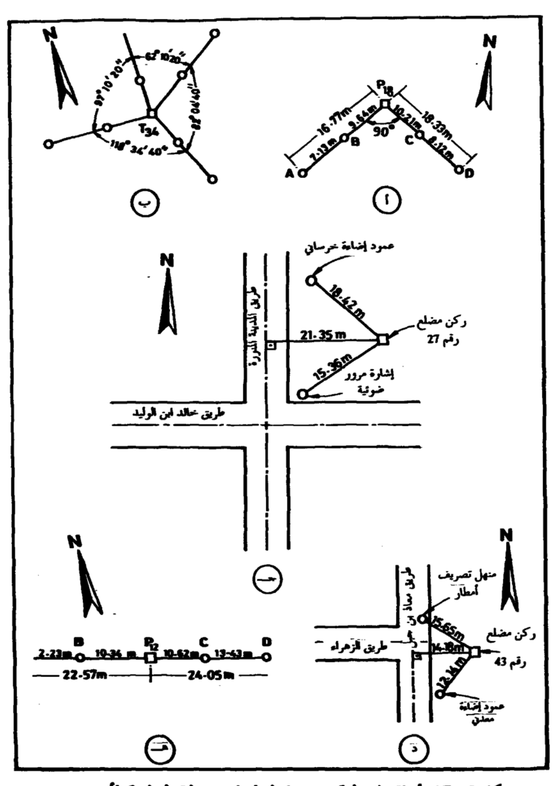


شكل 3 - 15 وصف العلامات الممثلة للنقاط المساحية ،

نموذجان على سبيل المثال



شكل 3 - 16 أمثلة أخرى على طرق وصف واسناد نقاط المساحة الهامة أ،ب،جـ،د،هـ

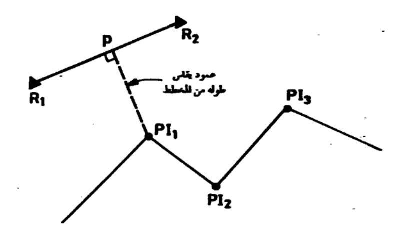


شكل 3 - 17 أمثلة على طرق إسناد نقاط المضلعات والنقاط الهامة الأخرى.

□ ترمز إلى النقطة المطلوب إسنادها (ركن المضلعات أو غير ذلك)

○ ترمـز إلى النقطة (المعلم أو العلامة) المستعمل لها لغايات الإسناد

لاحظ الأساليب الخمسة (أ،ب،جـ،د،هـ).



شكل 3 - 18 تحديد موقع نقطة التقاطع بطريقة العمود والمسافة استناداً إلى نقطتين مرجعيتين مجاورتين معلومتين

كذلك يحسب سمت R_2, PI_1 على الشكل التالي :

$$\alpha_{R_2PI_1} = \tan^{-1}[(X_{PI_1} - X_{R_2})/(Y_{PI_1} - Y_{R_2})]$$

فيكون مقدار الزاوية (α_{R_2}) مساوياً :

$$\alpha_{R_2} = \alpha_{R_2PI_1} - \alpha_{R_2R_1}$$

(لاحظ أنه قد تنتج زاوية بمقدار سالب فيتوجب عندها إضافة 360°)

3 - تحسب المسافة (R_2, PI_1) من العلاقة :

$$d_{R_2PI_1} = [(X_{PI_1} - X_{R_2})^2 - (Y_{PI_1} - Y_{R_2})^2]^{\frac{1}{2}}$$

4 - يوضع جهاز المحطة الشاملة في النقطة المرجعية (R_2) وبعد ضبطه يوجـــه إلى (R_1) وتصفر الزوايا الأفقية ويغذى الجهاز بمقدار سمت الضلع (R_2, RI_1) وبإحداثيـــات النقطة (R_2) ثم يلف المنظار باتجاه دوران عقرب الساعة بمقـــدار الزاويـــة (α_{R_2}) المحسوبة أعلاه ثم يجري التنقل بالعاكس على خط النظر الحالي إلى أن تظهر علـــى الشاشة الإحداثيات المحسوبة من المخطط لنقطة التقاطع (PI_1) وعندها يكون موقع العاكس الحالي هو موقع الـ (PI_1) المراد تحديدها وتجســيدها في الطبيعـة. وإذا لم نستخدم جهاز المحطة الشاملة فيمكن توقيع الزاوية (α_{R_2}) بجهاز ثيودوليت عـــادي وقياس المسافة ($d_{R_2 PI_1}$) المحسوبة أعلاه وفق خط النظر الحالي باستخدام الشريـــط المعدني فتكون نقطة نهاية المسافة هي النقطة(PI_1) ذاتها.

جدير بالملاحظة أنه يمكن قياس المسافة بالشريط وفق خـــط النظـر ثم وضـــع العاكس عند تدريج الشريط الممثل للمسافة (بينما الشريط ممتد بشكل مســـتقيم وفق خط النظر) للتدقيق على المسافة حيث يمكن الآن تحريك العاكس وفق خـــط النظر ابتعاداً أو اقتراباً حتى نقرأ المسافة الصحيحة على شاشـــة الدســتومات، أو الإحداثيات الصحيحة على شاشة جهاز المحطة الشاملة .

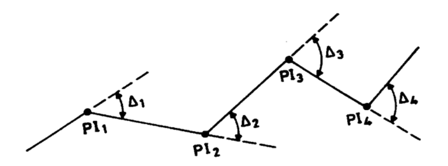
ملاحظة:

ليس من الضروري توقيع نقاط التقاطع بشكل دقيق ومطابق للقياسات المـــأخوذة من المخطط المساحي حيث يمكن للمهندس المصمم تحريك مواقع الـ (PI_s) قليلاً أو كثيراً وفقاً للظروف الحقلية (واقع الطبيعة).إن الغاية من كل البنود السابقة المتعلقة بنقل نقـــاط التقاطع من المخطط إلى الطبيعة ماهي إلاّ وسيلة لمعرفة الواقع على الطبيعة لهذه النقـــاط المختارة وفقاً لمعطيات المخططات الطبوغرافية والدراسات المستندة إليها. ومن الطبيعي أن يحاول المهندس المصمم (بعد أن حدّد على الطبيعة المواقع المختارة لنقاط التقاطع استئناساً بالمخططات والصور والخرائط) دراسة واقع هذه النقاط في الطبيعة. وهذا قد يـــودي إلى بعض التعديلات ومن ثم تجسيدها بشكل نهائي. إن استخدام الدستومات وجهاز المحطـــة الشاملة في تحديد هذه المواقع لا يعني أننا بحاجة إلى نقل القياسات مـــن المخططـــات إلى الطبيعة بدقة فائقة (لاحظ أن قياسات المخطط ليست أصلاً دقيقة إذ تمّت بشـــيء مـــن

التقريب المعتمد على مقياس المخطط وعلى الأدوات المستخدمة في القياسات على هـــذا المخطط) وإنما كان هذا الاستخدام لغايات السرعة في تحديد المواقع التقريبيـــة لنقـــاط التقاطع على الطبيعة .

2-4-3- قياس زوايا التقاطع :

بعد تجسيد كافة نقاط التقاطع (PI_1 , PI_2 , ...etc.) يجري الآن استخدام الثيودوليت في قياس الزوايا الأفقية (Δ_1, Δ_2,....etc.) بين أزواج المستقيمات المتقاطعة المتتالية المشكلـــة لمسار الطريق المقترح، شكل (3 - 19) .



شكل 3 - 19 قياس الزوايا الأفقية بين أزواج المستقيمات المتقاطعة

3 - 4 - 3 قياس المسافات الأفقية :

باستخدام أجهزة المساحة الألكترونيـــة، كالدســتومات (أو قـــائس المســافات الالكتروني EDM) على سبيل المثال، يجري قياس المسافات الأفقية بين نقاط التقاطع (أي : (PI_1 - PI_2 , PI_2 - PI_3 , PI_3 - PI_4 , ...etc. .

3 - 4 - 4 ربط خطوط المسار بنقاط المساحة المرجعية :

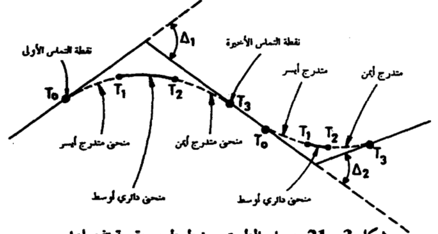
يجري ربط خطوط المسار (الخطوط المستقيمة) المجسدة على الطبيعة بنقاط المساحة المرجعية القريبة لتتشكل بذلك مضلعات تمكننا من حساب الإحداثيات الدقيقـــة لذروات المسار (أي نقاط التقاطع:الـــ PI_s) وفقاً للطرق التي سنشرحها في فصل المضلعات لاحقاً.



الحالة الثانية :

هنا تكون للمعطيات كما يلي :

- زوايا التقاطع مقيسة بدقة في الميدان .
- العناصر الأساسية لكافة المنحنيات الأفقية المنوعة (الدائرية البسيطة والدائرية المركبة والدائرية العكسية والحلزونية المتدرجة) التي يجري تنفيذها على أرض الواقع، شكل (3-21). وعليه ووفقاً لهذه المعطيات يجري حساب أطوال المماسات النهائية وبالتالي تحديد كافة نقاط التماس بين منحنيات الوصل المختلفة وبين الأجزاء المستقيمة من المسار.



شكل 3 - 21 مسار الطريق ، خطوط مستقيمة تفصلها منحنيات وصل منوّعة (دائرية ومتدرجة)

3-4-6- تجسيد نقاط وصل المنحنيات الأفقية الرئيسة في الطبيعة

بافتراض أننا سنعتمد الحالة الثانية من البند رقم (5) أعلاه (وهذا المفضل)، أي التصميم النهائي لكافة المنحنيات الدائرية والمتدرجة اللازمة،يجري عمل البنود التالية :

1 - يجري غرس علامات مناسبة في جميع نقاط التقاطع (PIs) ونقاط تماس المنحنيات مع الأجزاء المستقيمة ونقاط تماس المنحنيات ذاتها. هذه العلامات يمكن أن تكون ، كما ذكرنا آنفاً، أوتاداً أو زوايا معدنية (مغروسة في التربة أو في صبة خرسانية) أو اسطوانة خرسانية ملصق في

سطحها صفيحة معدنية دائرية (قطر 4 - 5 cm) أو مربعة في وسطها مصلب، أو صلباناً محفورة ضمن صخور مستقرة ومستمرة وثابتة وكبيرة.

2 – غرس علامات بين نقاط التماس على كامل للنحنيات وعلى مسافات متساوية (في معظمها) من بعضها (5 m أو 10m أو 20m أو (وبما لايزيد على) 25m بحيث تصغر هذه للسافة كلما كان نصف قطر للنحني الدائري صغيراً وكذلك في حالات غرس علامات للنحنيات للتدرجة). تكون هذه العلامات في الغالب قضباناً أو زوايا حديدية مناسبة.

3 – غرس علامات على الأجزاء المستقيمة من المسار وذلك على مسافات متساوية من بعضها 10m , 15m, 20m, 25m ، وقد تصل إلى 50m في المناطق المنبسطة. تكون هذه العلامات عادة أوتاداً خشبية ويمكن أيضاً أن تكون قضباناً حديدية .

ملاحظات :

* بما أن الأجزاء المستقيمة محددة في الطبيعة (واقعة على خطوط النظر التي تصل بين أزواج نقاط التقاطع المتتالية، فيمكن بسهولة تعيين مواقع الأوتاد (قياس المسافات الجزئية أو التباعدات) على هذه الأجزاء المستقيمة باستخدام الشريط وربما أيضاً باستخدام الدستومات(قائس المسافات الالكترونيEDM).

* فيما يتعلق بمواقع الأوتاد على الأجزاء المنحنية من المسار، فيتم تعيينها أيضاً باستخدام الشريط أو الدستومات كما سنوضح ذلك في فصل المنحنيات الأفقية لاحقاً .

* ليس من الضروري غرس الأوتاد على مسافات متساوية من بعضها إذ يمكن أيضاً غرسها عند نقاط تغير الميل على الأجزاء المستقيمة من المسار (محور المشروع) .

3-4-7- تعيين المناسيب على محور المسار

استنادا إلى نقاط المناسيب المرجعية المجاورة (Bench Marks) يجري أخذ القراءات الخاصة بتعيين مناسيب نقاط سطح الأرض الملاصقة لمواقع الأوتاد المغروسة على

محور المسار أو المشروع (الأجزاء المستقيمة والمنحنية معاً).وهنا نواجه الحـــالتين التاليتين :

1 – حالة الأراضي أو المناطق المنبسطـــة ، وهنا يتم تعيين المناسيب بطريقـــة التسوية العادية (Ordinary Levelling) باستخدام جهاز التسوية (Level) وهي طريقة معروفة تماماً لدى القارىء الكريم .

2 – حالة المناطق الوعرة أو/ و شديدة الانحدار، وهنا نستخدم طريقة التسوية المثلثية في إيجاد مناسيب مواقع الأوتاد على الأجزاء الوعرة أو شديـــدة الانحدار من المسار.سيتم شرح هذه الطريقة بالتفصيل في فصل خـــاص لاحق .

3 - 4 - 8 رسم المقطع الطولي لمحور المشروع :

الآن وبعد تعيين أو تحديد وقياس للمسافات الأفقية بين الأوتاد بالإضافة إلى قياس مناسيب مواقع هذه الأوتاد المغروسة سواء على الأجزاء المســـتقيمة أو علـــى الأجزاء المنحنية من محور المشروع (Road Centre Line) ، يجري رسم المقطع الطولي بمقياس رسم أفقي (للمسافات الأفقية بين الأوتاد) مناسب، على سبيل المثـــال (1/500)، أو (1/1000)، أو (1/2000) وبمقياس رسم مناسب للمناسيب، على ســـبيل المثال (1/100) ، أو (1/200) ، وربما أحياناً (1/50) وفقاً لدرجة الانحدار في ســـطح الأرض عبر محور المشروع.جدير بالملاحظة أن المسافة الأفقية التي يجري اعتبارها (عند رســـم المقطع الطولي وبالتالي تمثيلها علـــى محـــور الســـينات أو محـــور المسافات) بين وتدين واقعين على جزء منحني من المسار (دائري أو متدرج) هي المساوية لطول الجزء المنحني الممتد بين هذين الوتدين (وليس طول الوتر أو الخط المستقيم الواصل بين الوتدين). إن خط المقطع الطولي الذي يصل بين النقـــاط الممثلة لمسار الطريق (الأجزاء المستقيمة والمنحنية) يمثل خط منســـوب ســـطح الأرض الطبيعية وفق محور المشروع . يبقى الآن أن نبيّن طبيعة ســـطح الأرض على يمين ويســـار محور المشروع. يجري هذا بطريقة مشابهة لتلـــك المتبعـــة في تعيين مناسيب محور المشروع، حيث واستناداً إلى نقاط مناسيب مرجعية بجـــوار

وعلى طول محور للمشروع يجري بطريقة التسوية العادية (باســـتخدام جـــهاز التسوية) أخذ القراءات الخاصة بتعيين مناسيب بضعة نقاط (مقيسة البعد عـــن محور المشروع)على يمين ويسار كل وتد من الأوتاد المغروسة على طول مسار أو محور المشروع (الأجزاء المستقيمة والمنحنية). من الطبيعي أن تعتمد المسافات بين هذه النقاط المشكّلة للمقاطع العرضية على درجة ميل ووعورة ســـطح الأرض ونوع الطريق وميزانيته وأمور فنيّة أخرى تخص هندسة الطرق.أما طريقة رســـم هذه المقاطع العرضية فتتـــم بنفس أسلوب رسم للقطع الطولي مع اختلاف فقط في المقاييس. هنا يعتمد مقياس واحد للمسافات الأفقية وللمســـافات الرأســـية ويكون عادة (1/200) أو (1/ 100) أو (1/50) والشائع هو (1/100) .

3-4-9- رسم المسار الرأسي

الآن وبعد بيان طبيعة الأرض (انحدارها أو ميلها) من خلال المقطع الطـــولي، يقوم فريق التصميم المختص برسم المسار الذي يرى أن يسلكه خط سير المركبة على طول محور المشروع . يستلزم هذا بالطبع رسم خطوط بميول معينة تتبـــع معايير واضحة ومحددة كنوع الطريق ونوع المركبات التي ستسير عليه وميزانيـــة المشروع بالإضافة إلى تضاريس شريط الأرض وطبيعة التفاصيل والمعالم وأثمـــان الأراضي على جانبي محور المشروع وعوامل البيئة والراحة والسلامة العامة..الخ.

3-4-10- رسم المقاطع العرضية والميول الجنوبية

بعد رسم للمقاطع العرضية، يقوم الفريق المصمم بوضع أو رسم خط التصميـــم (بالاستعانة بالمقطع الطولي)على هذه المقاطع العرضية وذلك بملاحظة منســـوب خط السير (خط محور المشروع المصمم والموضح على المقطع الطولي).

كذلك يقـــوم هذا الفريق المصمم برسم خطوط الميـــول الجانبيـــة علـــى ذات المقاطع العرضية (وفقاً لمواصفات التربة وعمق الحفر وارتفاع الـــردم الـــلازم). برسم المقاطع العرضية يمكن حساب مساحاتها وحجوم الأعمال الترابية .

ملاحظات :

* يتم تعيين اتجاهات المقاطع العرضية في الطبيعة باستخدام للموشور المرئي (Prismatic Square) وربما يحتاج الأمـــر إلى اســـتخدام الثيودوليـــت في المنـــاطق الوعـــرة والمنحدرة لتحديد الاتجاهات (متعامدة على محور المسار أو المشروع) .

سنورد المزيد من التفاصيل حول أعمال التسوية الخاصة بالمقاطع الطولية والعرضية وحول حساب مساحات المقاطع العرضية وحجوم الأعمال الترابية في فصلين لاحقين .

3-4-11- إعداد المخططات والبيانات النهائية [م45]

1 - توقيع نقاط التقاطع (PIs) على لوحة بمقياس رسم مناسب (عادة 1/1000 أو 1/2000) وذلك من خلال الإحداثيات المحسوبة لها .

2 - توقيع مواقع الأوتاد التي استخدمت في رسم المقطع الطولي لمحور المشروع وكتابة المناسيب المحسوبة لمواقع هذه الأوتاد (سواء تلك الواقعة على الأجزاء المستقيمة أم المنحنية من المسار) على نفس المخطط المذكور أعلاه (لاحظ أن مناسيب الأوتاد الواقعة على الأجزاء المستقيمة تحسب بمعرفة الميول الرأسية للأجزاء المستقيمة والمسافات الجزئية بين الأوتاد كما أن مناسيب مواقع الأوتاد على الأجزاء المنحنية تحسب من خلال تصميم المنحنيات الرأسية التي سيرد ذكرها لاحقاً في فصل خاص .

3 - توقيع مواقع النقاط الممثلة للمقاطع العرضية وهذه كما رأينا تقع على خطوط مستقيمة متعامدة مع مواقع الأوتاد على الأجزاء المستقيمة والمنحنية وعلى مسافات معلومة من بعضها (جرى تحديدها في بند عمل المقاطع العرضية). نكتب أيضاً مناسيب هذه النقاط بجوار مواقعها على المخطط .

4 - رسم خطوط الكنتور بفترة كنتورية مناسبة (عادة 1m، ولكن يمكن وحسب طبوغرافية الأرض ، أن تكون 0.5m). من الواضح أنه كلما كانت الأرض منحدرة أكثر كلما زاد مقدار الفترة الكنتورية والعكس صحيح إذ ينقص مقدار الفترة الكنتورية مع انخفاض درجة الميل أو الانحدار.

5 - **إجراء أي تعديل (أو إزاحة) ممكن أو مقترح على المسار واستخدام المخطط ذاته من حيث استنباط المعلومات الخاصة بالمقطع الطولي والمقاطع العرضية (وما يتبعها) للجزء الذي جرى تعديله .بهذا نكون بنهاية هذه المرحلة قد أنجزنا**

مسائل

3 - 1 ماهي الخطوات المساحية الرئيسة التي تتبع تثبيت علامات (الأسياخ والأوتاد الخشبية والأنابيب والقضبان المتنوعة والملائمة بأطوالها وأقطارها) خط المحور (Centre Line) لمسار مشروع معين ؟

3 - 2 كيف يمكن نقل تفاصيل مخطط أو خريطة ما بمقياس معين إلى مقياس آخر أكبر بشكل يدوي ؟

3 - 3 ما هي أنواع نقاط التحكم أو الضبط (Control Points) ولأي الغايات تستخدم ؟

3 - 4 بماذا يجري عادة الإشارة إلى خط المحور (Centre Line) لطريق أو مسار آخر مقترح؟ وكيف يجري ترقيمها ؟

3 - 5 أذكر بعضاً من مقاييس الرسم شائعة الاستخدام في أعمال المساحة التفصيلية (ملكيات الأراضي، لغايات تصميم المنشآت السكنية، مراحل التصميم النهائية لمشاريع الطرق وشبكات المياه والمجاري ... الخ) .

3 - 6 الجدول التالي يبين إحداثيات نقاط مساحة مرجعية تخص أو تقع ضمن قطعة أرض يراد تمثيلها على مخطط بمقياس مناسب وليكن (1:500) ، المطلوب تحديد إحداثيات الركن الجنوبي الغربي الأقصى من شبكة الخطوط التربيعية التي سيصار إلى رسمها على لوحة الرسم (المخطط) بتباعدات (10 cm) في الاتجاهين (السيني والصادي).

	X (m)	Y (m)
A	3216.23	4461.39
B	3319.42	4497.11
C	3413.49	4518.37
D	3419.68	4621.44

3 - 7 ما هي مساحة الأرض التي يمكن تمثيلها ومن معطيات التمرين رقم (3-6) ؟

3 - 8 كيف تكتب أرقام الأوتاد المغروسة على خط المحور لمشروع طريق معين إذا كانت تبعد هذه الأوتاد المسافات التالية من بداية الطريق أو المشروع ؟

725 m , 1225 m , 1500 m , 1775 m , 2200 m, 2225 m .

3 - 9 اذكر الأشكال التي يمكن أن تأخذها علامة المساحة في الطبيعة .

العناصر الأساسية التالية والتي يتوجب توثيقها حسب الأصول كملف مساحي نهائي لأعمال تنفيذ مشروع الطريق :

6 – الإحداثيات النهائية الدقيقة والكروكيات (بطاقات الوصف وعلامات الاسناد المرجعية) لنقاط التقاطع (الـ Pis).

7 – محطات (أو تدريجات Chainages) مواقع الأوتاد التي يتوجب غرسها على كامل محور المشروع، بما في ذلك مواقع أوتاد نقاط التماس والنقاط الممثلة للأجزاء المنحنية من المسار.

8 – المسافات والمناسيب ومختلف المعلومات والحسابات الخاصة بنقاط المقطع الطولي (Profile) بما في ذلك النقاط الممثلة للأجزاء المنحنية من المسار ونقاط المقاطع العرضية (Cross - Sections) .

9 – مخططات المقطع الطولي والمقاطع العرضية بالمقاييس آنفة الذكر .

10 – مخطط شامل للمسار وخطوط الكنتور ومواقع المنشآت الهامة على هذا المسار بالمقياس المذكور آنفاً (1/1000 أو 1/2000)، بما في ذلك المسار نفسه (خط محور الطريق) .

3 - 10 اذكر أهم المعلومات الأساسية التي يمكن استنباطها في مرحلة الأعمال الاستطلاعية.

3 - 11 اذكر أهم البنود التي يتوجب إنجازها وتوثيقها في مرحلة الدراسة المساحية الأولية.

3 - 12 أذكر العناصر الأساسية التي يتوجب إنجازها وتوثيقها في مرحلة الأعمال المساحية النهائية.

- 4 -

الفصل الرابع

الفرق الهندسية الرئيسة العاملة في مشاريع الطرق

ENGINEERING WORKING TEAMS IN HIGHWAY PROJECTS

4 - الفرق الهندسية المطلوبة في أعمال تخطيط وتصميم خطوط المسارات

4-1- مقدمة

يتطلب الاختيار السليم والتصميم الموفق لخطوط المسارات المختلفة قدراً هائلاً من المعلومات حول الجوانب الطبوغرافية(Topography) والجيولوجية (Geology) والهيدرولوجية (Surface and Underground Drainage) واستعمالات الأراضي (Land Uses, Present and Future) وميكانيكية التربة (Soil Structure)، وعليه فلابد من عمل مساحي متنوع الدقة ومتعدد المصادر وسريع وفعال. إن الغاية الأساسية من هذا العمل المساحي هو تلبية حاجة المشروع من المعلومات التي: (1) تُسهم في تحديد موقع المشروع (Location)، (2) تمكن من إنجاز التصميم (Design) ، (3) تحدد حرم المسار وبالتالي حدود الأراضي المجاورة (Right of Way)، و (4) تلزم لأغراض التنفيذ(Construction) . ولا شك أن حجم ودقة المعلومات المساحية تختلف من مرحلة لأخرى ومن مشروع لآخر، ولكن من المهم أن نعلم أن المزيد من الدقة يتطلب المزيد من الوقت وبالتالي المزيد من التكاليف.في أحيان كثيرة، يكون طلب زيادة قليلة في الدقة سبباً في زيادة هائلة في التكاليف. من هنا، وعلى الرغم. من إن تكاليف الأعمال المساحية مهما كانت دقيقة لا تتجاوز عادة 2-1 ٪ من التكاليف الكلية للمشروع، فان الزيادة غير المبررة في الدقة تكون على حساب الوقت والمال. وتعتمد درجة الدقة المطلوبة في أعمال المساحة على الأمور الرئيسة التالية[م52] :

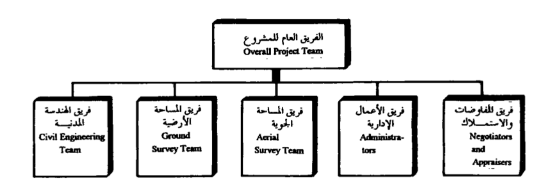
(1) الغرض من العمل المساحي(Purpose of Survey) ،

(2) طبوغرافية منطقة المشروع(Type of Topography) ،

(3)كثافة التفاصيل واستعمالات الأراضي(Intensity of Land Uses).

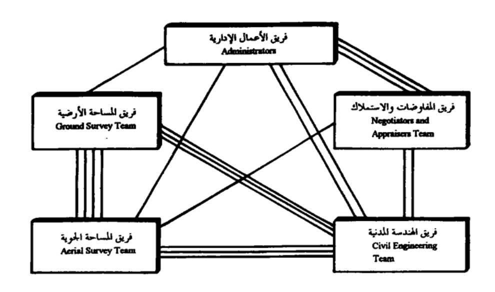
(4) الاعتبارات الاقتصادية(Economic Coisiderations) .

إن الحجم الهائل من المعلومات المطلوبة واعتبارات الدقة والسرعة في الإنجاز والتكامل في المتطلبات تستوجب جميعها إن يكون هناك فريق عمل رئيسي يلقق ويوجه وينسق أعمال عدة فرق أخرى يعنى كل منها بمجال محدد طيلة فترة مراحل المشروع التصميمية والتنفيذية.الشكل (4-1) يبين الفريق الرئيسي والفرق التابعة له التي غالباً ما يتطلبها أي مشروع مسار يهدف الإنجاز الجيد .



الشكل 4 - 1 الفرق الأساسية اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين

إن الإنجاز الجيد للمشروع لا يتطلب توفير الكوادر الفنية والأجهزة والمواد فحسب،بل يجب إيجاد أسس للاتصال والتعاون والفهم المتبادلة وإلمام كل فريق بمستلزمات الفريق الآخر أيضاً، كذلك لا بد من العمل على توثيق المعلومات وتكاملها بشكل جيد ومدروس، والحرص على تسهيل مهمة البحث عنها والاستفادة منها. **يبين الشكل (4-2)أهمية** وحجم العلاقة التي تربط كل فريق بالفرق الأخرى بشكل يتناسب مع عدد الخطوط.وعليه فانه يلاحظ بان فريقي المساحة الأرضية والمساحة الجوية يتساويان من حيث الأهمية مع فريق الهندسة المدنية، ولكن علاقتهما ببعضهما أقوى من أي علاقة ثنائية أخرى بين مختلف الفرق ونلاحظ الأمر نفسه بالنسبة لفريقي الإدارة والإستملاك إذ لهما العلاقة نفسها مع فريق الهندسة المدنية بينما توجد بينهما علاقة أقوى.



الشكل 4 -2 قوة العلاقة بين مختلف الفرق العاملة في مشروع مسار معين معبر عنها بعدد الخطوط، كلما زاد عدد الخطوط كانت العلاقة (حجم التعاون) أقوى وأهم

كذلك نجد أن العلاقة بين فريقي الإدارة والاستملاك وفريق الهندسة المدنية أقوى من علاقة فريقي الإدارة والاستملاك مع كل من فريقي المساحة الأرضية والمساحة الجوية.وهذا يعود بشكل رئيسي إلى الحاجة الماسة لرأي فريق الهندسة المدنية في شؤون الاستملاك وفي الشؤون المالية المتعلقة بإنشاء وصيانة المشروع.[م52] .

4 - 2 فريق الهندسة المدنية(Civil Engineering Team)

يُعَدُّ فريق الهندسة المدنية من أهم الفرق العاملة في مشاريع المسارات. ولكي يتسنى لهذا الفريق القيام بواجبه خير قيام من حيث الدقة والاقتصاد في الإنجاز، ينبغي أن يضم

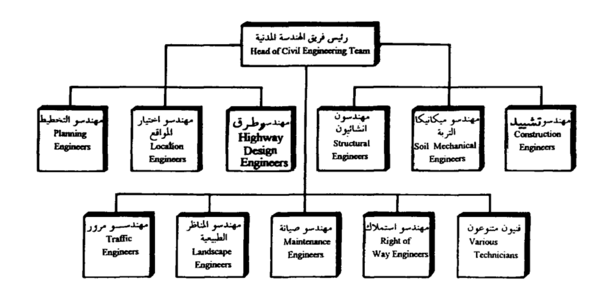
هذا الفريق متخصصين أو مهندسين خبراء في مجالات التخطيط(Planning) ، والمرور(Traffic)واختيار المواقع (Location) ، والصيانة (Maintenance)والتصميم الهندسي(Geometric Design) ، والتصميم الإنشائي (جسور وعبارات وجدران إستنادية... الخ) (Structural Design) ، والاستملاك (Right of Way) ، والتنفيذ الإنشائي(Construction) ... الخ. يتبع هذا الكادر الهندسي التخصصي كادر مقتدر من الفنيين في مجالات إنشاء الجسور وأعمال الحفريات والفرشيات والخلطات الأسفلتية والصيانة والمرور... الخ، الشكل (4-3) ولابد أن يدير هؤلاء جميعاً مهندس طرق مدني بخبرة وكفاءة عاليتين إضافة إلى تمتعه بخلفية جيدة عن أعمال المساحة الأرضية والجوية وشؤون إدارة المشاريع والأنظمة الهندسية.

ملحوظة:

من بين الشعب التي تشكل فريق الهندسة المدنية في الشكل (4-3) شعبة هندسة ميكانيكا التربة.وتشتمل على متخصصين في دراسة التربة والنواحي الجيولوجية والجيوتقنية نظراً للدور الأساسي الذي يلعبه المهندسون والفنيون الجيولوجيين والجيوتقنيون في تحديد مسارات الطرق خصوصاً في الأمور المتعلقة بمواقع الهبوط والإنزلاقات في التربة، وبتحديد ميول الحفر والردم إضافة إلى دراسة أماكن وجود المقالع الحجرية والينابيع المائية وغيرها من المواد والأمور التي تساعد على تحقيق الاقتصاد والسلامة العامة. [م52]

3-4 فريق المساحة الأرضية (The Ground Survey Team) :

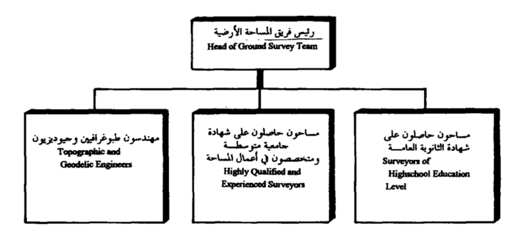
هذا الفريق على علاقة مباشرة ووطيدة مع كافة مراحل إنشاء المسار وأعمال الصيانة فيما بعد . تنعكس كفاءة هذا الفريق على دقة الإخراج النهائي للمشروع إضافة



الشكل 4 - 3 فريق الهندسة المدنية ويشتمل على مهندسين وفنيين من مختلف التخصصات

إلى المساهمة الأكيدة في تجنب الأخطاء الكبيرة وما يترتب عليها من هدر للمال والوقت . ويضم هذا الفريق مهندسين متخصصين في مجالات الجيوديزيا (Geodetic Engineers) والطبوغرافيا(Topographic Engineers) إضافة إلى مساحين وفنيين ذوي خبرة واسعة ، تمكنهم من تشغيل وبرمجة أجهزة المساحة الإلكترونية الحديثة ، الشكل (4-4) . يتركز عمل هذا الفريق على علاقة مباشرة ووطيدة مع كافة مراحل إنشاء المسار وأعمال الصيانة فيما بعد. تنعكس كفاءة هذا الفريق على دقة الإخراج النهائي للمشروع إضافة إلى المساهمة الأكيدة في تجنب الأخطاء الكبيرة وما يترتب عليها من هدر للمال والوقت. ويضم هذا الفريق مهندسين متخصصين في مجالات الجيوديزيا (Geodetic Engineers) والطبوغوافيا (Topographic Engineers) إضافة إلى مساحين وفنيين ذوى خبرة واسعة، تمكنهم من تشغيل وبرمجة أجهزة المساحة الألكترونية الحديثة،

الشكل(4-4) . يتركز عمل هذا الفريق في مجال مساحة المثلثات والمضلعات وأعمال التسوية العادية والمثلثية الدقيقة وتوقيع المنحنيات الأفقية والرأسية وغرس أوتاد الميول وتحديد حرم الطريق ومواقع الجسور والعبارات والخنادق وغيرها من المنشآت المختلفة إضافة إلى حساب الكميات.وينصح أن يرأس هذا الفريق مهندس مساحة متخصص ذو خبرة واسعة في مجالات المساحة المختلفة وخصوصاً ما يتعلق منها بمساحة المسارات إضافة إلى خلفية جيدة في شؤون المساحة الجوية وهندسة الطرق [م10] [م12] [م22] [م52]

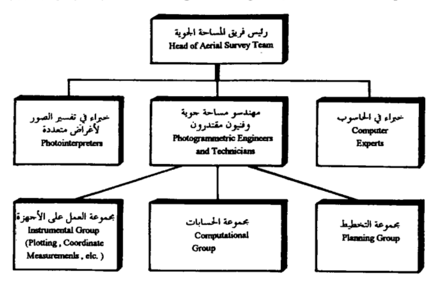


الشكل 4 - 4 مستوى العاملين في فريق المساحة الأرضية

4-4 فريق المساحة الجوية (Aerial Survey Team):

على الرغم من أن مشاركة هذا الفريق مع غيره من الفرق في تصميم وإنشاء المسارات، أصبح شيئاً مألوفاً جداً في الدول المتقدمة، إلا إن الأمر غير ذلك في معظم الدول النامية لعدة أسباب من أهمها النقص الكبير في الكوادر المدربة والمؤهلة في هذا المجال، الشكل (4 -5). يشتمل هذا الفريق على مهندسين وفنيين في مجالات تفسير الصور لغايات متعددة (زراعية، وجيولوجية،وتعدينية، ومرور، وصيانة... الخ)، وعمل مخططات وخرائط طبوغرافية متنوعة من خلال الصور وأجهزة المساحة الجوية، واستنباط الإحداثيات والأبعاد المختلفة، ومعالجة المعلومات من خلال الحاسوب، وتعديد الصور، وعمل الخرائط الصورية، وإعداد مخطط الطيران، اختيار وتحديد نوع

العدسة والطائرة (ارتفاع الطيران وتجهيزات التصوير... الخ)، وتجهيز المنطقـــة المصـــورة بالعلامات المناسبة واختيار مواقع نقاط الضبط.. الخ. يرأس هذا الفريق عـــادة مـــهندس مساحة جوية(Photogrammetric Egineer) ذو خبرة في أعمال المساحة الجوية إضافـــة إلى معرفة جيدة في أعمال المساحة الأرضية وهندسة الطرق [م5] [م6] [م9] [م11] [م20] [م52]

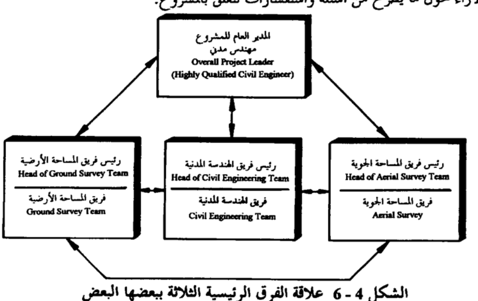


الشكل 4 - 5 العاملون في فريق المساحة الجوية

4 - 5 العلاقة بين فرق الهندسة المدنية والمساحة الأرضية والمساحة الجوية:

من الواضح أن الفرق الرئيسيّة التي تلعب دوراً أساســـياً في تصميـــم وإنشـــاء المسارات هي فريق الهندسة المدنية وفريق هندسة المساحة الأرضية وفريق هندسة المساحة الجوية،الشكل(4-6). ولابد هنا من تعاون وثيق بين الفرق واحترام وفهم متبادل لأعمال كل فريق حتى يتحقق الهدف الهندسي من المشروع ألا وهو الدقة والتكامل والاقتصـــاد. ولا بد هنا أن يعرف كل فريق مكانة وأهمية عمل الفريقين الآخرين وطبيعته ويبحث عن أفضل الطرق والبرامج التي تعينه على تحقيق وإنجـــاز متطلبات الفرق الأخـــرى، بعـــد مناقشة تفصيلية مشتركة تأخذ بعين الاعتبار كافة العناصر الرئيسية الأخرى للمشـــروع وقد جرت العادة، وثبتت صحتها، أن يرأس هذه الفرق الثلاثة مهندس مدني ذو خـــبرة واسعـــة في مجالات التصميم والإنشاء والصيانة إلى جانب معلومات أساســـية في حقلي المساحة الأرضية والجوية.يقوم هـــذا المهندس، (وهـــو نفســـه مدير المشـــروع

(Overall Project Engineer) ، بمناقشة القضايا كافة (خصوصاً الفنية منها) مع رؤساء الفرق الثلاثة من أجل تحديد خطة سير العمل وتحديد الأولويات وتوزيع المسؤوليات وتحقيق التنسيق الفعّال بين مختلف الفرق. كما يقوم بتنظيم ندوات ومحاضرات محلية تهدف إلى مناقشة مشتركة لمشكلات وقضايا المشروع المختلفة وإلى تبادل المعلومات والآراء حول ما يطرح من أسئلة واستفسارات تتعلق بالمشروع.



الشكل 4 - 6 علاقة الفرق الرئيسية الثلاثة ببعضها البعض

4-5-1 العلاقة بين فريق ا الهندسة المدنية وفريق هندسة المساحة الأرضية:

يجب أن تكون العلاقة بين فريقي الهندسة المدنية والمساحة الأرضية وثيقة خصوصا في قضايا الدقة المطلوبة وانعكاساتها على الوقت والتكاليف عند وضع المواصفات والشروط الفنية لتنفيذ مختلف مراحل المشروع. يتطلب التعاون هنا أيضا مناقشة مراحل تنفيذ المشروع ووضع الأولويات وتسلسل الأعمال وتكاملها.

4-5-2 العلاقة بين فريق الهندسة المدنية وفريق هندسة المساحة الجوية:

يحتاج فريق الهندسة المدنية إلى التعرف على الخدمات والمعلومات والدقة التي يمكن الحصول عليها من خلال فريق المساحة الجوية لمختلف مراحل المشروع. كذلك لا بد أن يقوم فريق المساحة الجوية بالتعرف على احتياجات المشروع وتوضيح شروط الدقة وتكاليفها والوقت اللازم لها من أجل تحقيق الوفر من خلال ربط أسلوب العمل ونوعية الأجهزة والكوادر الفنية بطبيعة العمل والدقة والمطلوبة.

3-5-4 العلاقة بين فريق هندسة المساحة الجوية وفريق هندسة المساحة الأرضية:

العلاقة هنا قوية إلى درجة يمكن معها توحيد هذين الفريقين في فريــق واحــد. ويمكن القول إنه لا يمكن تحقيق الدقة المطلوبة والاقتصاد المنشود دون تعاون وثيق وتكامل أكيد بين هذين الفريقين. فأعمال الفريقين تكمل بعضها بعضاً ونتائج كل منهما تنعكس على الآخر سلباً أو إيجابــاً. وفي هذا المجال ينبغي على فريق المساحة الجوية أن يعرف أن أعمــال فريق المساحة الأرضية هي الأساس الذي ترتكز عليه غالبية أعمــال المســاحة الجويــة وان هناك قضايا لا تحل إلا من خلال المساحة الأرضيــة، أن فريــق المســاحة الأرضية هــو صاحب الدور الأساسي في تزويد فريق المساحة الجويــة بالإحداثيــات الدقيقة لنقاط الضبط(Control Points) ، وهو أيضاً الجانب الوحيــد القــادر علــى الوصول إلى مناطق الغابات والمناطق المخفية الأخرى للحصول على المعلومــات المساحية المطلوبة، حيث يصعب على المساحة الجوية عمل شيء بشأنها في نطاق الإحداثيات وبيان التفاصيل. كذلك على فريق المساحة الأرضية إن يعي دور فريق المساحة الجوية في نطــاق تقديم المعلومات المكثفة بالسرعة الهائلة محققاً بذلك الوفر في الوقت والمال. كذلك لا بــد أن يتفهم فريق المساحة الأرضية الحقيقة المؤكدة ؛ وهي أن دقة الكثير من الأعمـــال في المساحة الجويــة تستند إلى دقة الكادر الفني لفريق المساحة الأرضية وبرامــج حســاباته ونوعية أجهزتــه. ومن المفيد هنا أن يتذكر الفريقان أن زيادة بسيطة في الدقة قــد تعني زيادة هائلة في التكاليف، وهذا يستدعي ربط درجة الدقة المطلوبة بغايات وأهداف العمل لكل مرحلة من مراحل تنفيذ المشروع.[م3][م 5][م7] [م9][م11][م17][م24][م28] [م29][م52] .

مســـائل

4 - 1 عدّد الفرق الأساسية اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين واذكر بما لا يتعـــدى خمسة سطور عن أهمية كل منها.

4 -2 ما هي أهـــم الواجبات الأساسية الملقاة على عاتق فريق المساحة الأرضية في إطار تصميم وتنفيذ مشروع مسار معين؟

4 - 3 قارن بين فريقي المساحة الأرضية والجوية من حيث:

أ - طبيعة عمل كل فريق .

ب - الوقت اللازم لاستنباط المعلومات .

ج - التكاليف .

د - الدقة

هـ- المستوى العلمي والمهني للكوادر الفنيّة .

و - نوع وتكاليف الأجهزة المستخدمة من كل فريق .

4 - 4 ضع تصوراً عن العلاقة المهنية التي يجب أن تتوافر بين الفرق الأساسية المختلفـــة اللازمة لإنجاز مشروع مسار معين مع بيان أهمية هذه العلاقة وانعكاســـها علـــى تكاليف ونوعية المشروع.

(5)

الفصل الخامس

أجهزة المساحة الإلكترونية

EIECTRONIC SURVEYING INSTRUMENTS

5 – أجهزة المساحة الألكترونية [م54]

Electronic Surveying Instruments

5 - 1 مقدمـــــة :

يقبل العاملون في مجالات المساحة المختلفة علـــى اســتخدام أجــهزة المســاحة الإلكترونية بحماس وثقة وبشكل مكثــف وتزايد مضطرد. ولعل السبب الرئيسي يعـــود إلى السرعة الهائلة في إنجــاز القياســـات للمســافات القصــيرة والطويلــة (عشــرات الكيلومترات) في إطار السهولة الكبيرة في الاستعمال والدقة العالية في النتائج . وفوق ذلك كله هناك تطوير مستمر وشامل على طرق استخدامها وتنوع استعمالاتها وسبل تخزيـــن للعلومات وإخراجها. وإذا كانت السرعة والدقة وسهولة الاســـتعمال هـــي الســـمات الأساسية الإيجابية لأجهزة المساحة الألكترونية فإن هناك مخاطر كبيرة وتكـــاليف باهظـــة ستنجم حتماً عن سوء استخدامها. إنهـــا رائعة فعّالة إذا فهمت أساسياتها وبرامجها وحسُن وأتقن استخدامها وإنها، في نفس الوقت ، خاطئة جداً مشوشة ومعيقة في غياب الكفـــاءة لدى العاملين عليها.

وإن كانت مجالات استخدام أجهزة المساحة الالكترونية واسعة متشعبة فـــإن في مقدمة هذه الاستخدامات تأتي مساحة المضلعات أو التضليع . هذه الطريقـــة المســاحية المتنامية الاستخدام تجد في أجهزة المساحة الألكترونية خير سندٍ لها في تغذية الإحداثيـــات وما يشتق منها لمواقع النقاط والمعالم المتنوعة وذلك بدقة عالية وسرعة فائقـــة ممـــا يتيـــح للمخططين وللمصممين إنجاز أعمالهم وتصاميمهم في فترات زمنية مناسبة.وكمـــا سبق أن أشرنا إليه في الفصول السابقة، إن استخدام طريقة التضليع (Traversing) في أعمال الطـــرق هام وأساسي ومكثّف وهو كذلك في الماضي البعيد والقريب وفي الحاضر والمستقبل.غـــير أن أجهزة المساحة البصرية التقليدية كانت عاجزة تماماً عن تزويد المخططين والمصممـــين بالمعلومات المساحية (طبوغرافيا وإحداثيات ...) في الأوقـــات المناســـبة، خصوصـــاً في حالات المناطق الشاسعة والصعبة . يعود هذا بشكل رئيسي إلى طول الفترة الزمنية الـــتي كانت تستغرقها أعمال القياس الخطية وما يتبـــع ذلـــك مـــن حســـابات واشتقاقـــات

وتصحيحات كانت تتم في معظمها بشكل يدوي خصوصاً قبل قيام الثورة الحاسوبية. ناهيك عن عوائق القياس الطبوغرافية والجوية الكثيرة والتي كانت تحدُّ من الاستخدام السريع والدقيق والفعّال لأجهزة القياس التقليدية (ونقصد هنا أجهزة توجيه خطوط الاستقامات، كالثيودوليت ، بالإضافة إلى استخدام الأشرطة والجنزير ... الخ في قياس المسافات).

سوف نستعرض في الفقرات التالية وبشيء من التفصيل مبدأ استخدام أجهزة قياس المسافات الالكترونية، بعضاً من الخصائص الأساسية لهذه الأجهزة ، أنواعها ، تطبيقاتها مع التركيز على أعمال التضليع ، مصادر الأخطاء ، شئون الدقة والمعايرة، وبعض الأمثلة والتطبيقات .

كذلك سنقدم فكرة حول نظام التوقيع الكروي من حيث أنه نظام واعد متطور وبتسارع كبير من المتوقع أن يلعب دوراً هاماً ومتنامياً في العديد من التطبيقات (سيّما وأن ثمن هذه الأجهزة في انخفاض مستمر ومشجّع). في مقدمة هذه التطبيقات نذكر أعمال المضلعات وشئون تكثيف نقاط الضبط المساحية لأغراض وتطبيقات تخدم مجالات واسعة بالإضافة إلى أعمال المسح العقاري والتفصيلي وغيرها.

5 - 2 نبذة تاريخية [م7] [م8] [م9] [م11] [م12] [م17] [م21]

بدأ التطبيق العملي على استخدام أجهزة قياس المسافات الالكترونية في بداية الخمسينات (عام 1952) حين ظهر في الأسواق ولأول مرّة جهاز الجيوديمتر (Geodimeter حيث Geo من Geodetic و Di من Distance ومجموعها تصبح Geodetic Distance Meter) الذي أنتجته شركة AGA of Stockholm السويدية وفقاً للبحوث التي أجراها العالم الفيزيائي السويدي Dr. E. Bergstrand . لقد استخدمت مصابيح الزئبق والتنجستن كمصدر للضوء في النماذج الأولى من هذا الجهاز الكهروبصري (Electro- Optical Instrument) ممّا قللّ من فاعليته في قياس المسافات أثناء النهار بسبب ضعف الإشارات الضوئية . كذلك لم تكن الدقة مرضية في قياس المسافات القصيرة (أقل من نصف كيلومتر) فكان الاستخدام المكثف لهذا النوع مقتصراً إلى حدٍّ كبير على أعمال الشبكات الجيوديسية حيث المسافات كبيرة نسبياً.

تطور هذا الأمر لاحقاً في عقد الستينات حيث ظهرت أجهزة توليد الاشاعـــات تحــت الحمراء (Infrared Radiation) كمصدر للضوء (أمواج ضوئية بأطوال تتراوح بـــين 0.4μm إلى 1.2μm) في اجهزة القياس الكهروبصرية مّما ساعد في تخفيض تكاليف أجهزة القياس هـــذه وزيادة فاعليها .

هناك العديد من أجهزة القياس الالكترونية شائعة الاستعمال التي تتبع هذا النـــوع "أجهزة القياس البصرية" يصعب حصرها والحديث عنها هنا بشكل مفصّل نظراً للــتزايد المضطرد في تعدد أشكالها وتفاوت مواصفاتها مـــن حيث الدقـــة والمـــدى والتكـــاليف وشروط التشغيل ويمكن الرجوع إلى المراجع [ ] وغيرها لمزيد من المعلومات .

جدير بالذكر أنه وبحدود عام 1935 سبق وأن استخدم جهاز الكـــتروني لقيـــاس المسافات أطلق عليه في حينه بـــ الرادار" Radar " . لقد كان هذا الجهاز ضخمـــاً ثقيـــلاً منخفض الدقة لم يبلغ المستوى المطلوب لتلبية احتياجات الأعمال المساحية .

كذلك تمكن Wadley في أواسط الخمسينات من تطوير جهاز الكـــتروني لقيـــاس المسافات أطلق عليه اسم "Tellurometer " يعمل على الموجات المايكرويه (Microwave, 10 - 100μm) وتم استخدامه على نطاق تجاري عام (1957) في قياس المسافات الطويلة. تلا هـــــذا الجهاز تطوير عدد آخر من الأجهزة التي تعمل على الموجات الدقيقة .

5 - 3 - مبدأ عمل أجهزة قياس المسافات الالكترونية [م29] [م33] [م37] [م39] [م52]

5-3-1- مبدأ عمل الأجهزة الكهروبصرية : (Electro- Optical Instruments)

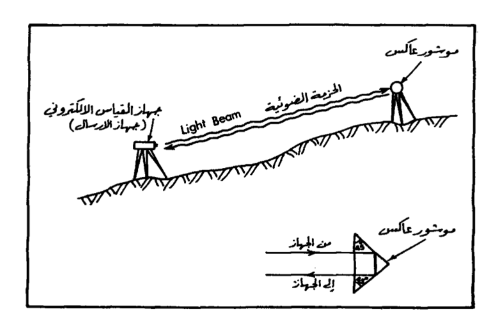
لتوضيح مبدأ عمل هذا النوع من الأجهزة التي تعمل على الموجات الضوئية المعدّلة (Modulated Light) بأطوال تتراوح من 0.4 μm إلى 1.2 μm (أي تشتمل على الموجات الضوئية المرئية(Visible Light) ، 0.4 μm إلى 0.7 μm ، والموجات تحت الحمراء Infrared Light ، 0.7 μm إلى 1.2 μm)، دعنا نفترض في الشكل (5 - 1) أنه يراد قياس المسافة بين نقطتين محددتين وذلك باستخدام أحد أجهزة القياس الكهروبصرية ، لذلك عندما نفترض وجود جـــهاز قيـــاس كهروبصري مثبتاً فوق النقطة A وعاكس Reflector مثبتاً فوق النقطة الثانية B . بتشغيـــــل جهاز القياس تطلق حزمة ضوئية ذات تردد معدل Frequency - Modulated Light Beam باتجاه

مركز العاكس الذي يقوم بدوره بعكس الحزمة إلى الجهاز فيقوم هــذا الأخــير (جــهاز القياس) بقياس الزمن الذي استغرقته الحزمة الضوئية في قطع للمسافة بين مركــز الجــهاز ومركز العاكس ذهاباً وإياباً (t) . وبمعرفة سرعة الحزة الضوئية (V) في الهــواء (الــذي سارت أو انطلقت خلاله Atmosphere) يمكن من خلال العلاقة الرياضية البســيطة التاليــة استخراج مقدار للمسافة (S) بين المركزين (مركز الجهاز ومركز العاكس)، انظر أيضــاً الشكلين (5-2) و (5-3) :

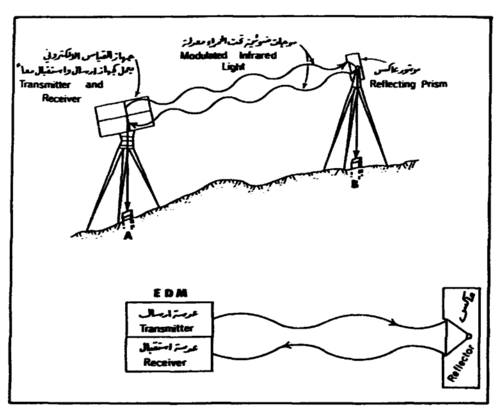
$$S = \frac{1}{2} V.t \quad \text{.........} (1-5)$$

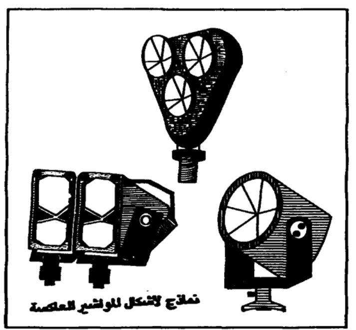
ملحوظة :

لمزيد من التفصيل يمكن الرجوع إلى المراجع [54، 51] وغيرها .



شكل 5 - 1 مبدأ قياس المسافات باستخدام الأجهزة الكهروبصرية [م51]





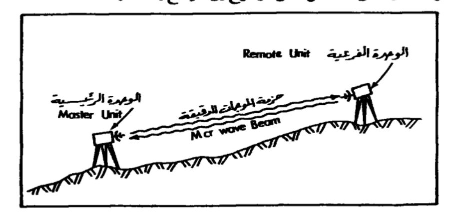
شكل 5 - 2 توضيح بياني إضافي لمبدأ القياس ونماذج لمواشير عاكسة [م51]

5 - 3 - 2 مبدأ عمل أجهزة الموجات الدقيقة

(Microwave Distance - Measuring Instruments) :

بالرجوع إلى الشكل (Two Identical Electronic Units) ، احدهما تثبت عند أحد طرفي الخط المراد قياس طوله بينما تثبت الوحدة الثانية عند الطرف الآخر لهذا الخط. يطلق على إحدى هاتين الوحدتين بالوحدة الرئيسية (Master Unit) بينما يطلق على الأخرى بالوحدة الفرعية (Remote Unit) . تقوم الوحدة الرئيسية بإرسال موجات راديوية ذات تردد معـــدل (Frequency Modulated Radio Waves) إلى الوحدة الفرعية حيث تستقبلها وتعيد إرســـالها إلى الرئيسية . الآن تقوم الوحدة الرئيسية بقياس الزمن المستغرق ذهابـــاً وإيابـــاً للموجـــات الراديوية ومن ثم حساب المسافة استناداً إلى نفس المعادلة المذكورة آنفاً، المعادلة (5-1) .

ملحوظة : لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى المراجع [ ] .



شكل 5 - 3 مبدأ القياس بأجهزة الموجات الدقيقة [م51]

5 - 4 جهاز المحطة الشاملة (Total Station) :

5 - 4 - 1 مقدمة :

جهاز المحطة الشاملة أو المتكاملة عبارة عن وحدتين متكـــاملتين لقيـــاس الزوايـــا (وحدة الثيودوليت الالكتروني) وللمسافات (وحـــدة قيـــاس للمســـافات الكترونيـــاً،أي الدستومات EDM) بالإضافة إلى كرت خاص لتسجيل المعلومات والقياسات الكترونيـــا ليجري فيما بعد قراءة واستخراج المعلومات المسجلة عليه من خلال حاسوب مناســـب

ومن ثم إجراء التصحيحات والإضافات اللازمة لغايات استخراج العديد من البيانات على شكل رسومات وجداول بمختلف أشكال المعلومات وفقاً لبرامج محددة ومنتقـــاة لخدمـــة الأغراض المرجوّة. من أهم ميزات جهاز المحطة الشاملة، السرعة والدقة وسهولة الاستعمال وإمكانية الربط المباشر وغير المباشر بالحاسوب والتسجيل الأتوماتيكي للمعلومات وبالتالي الاستغناء عن دفتر الحقل الكلاسيكي.

5 - 4 - 2 أنواع أجهزة المحطة الشاملة :

توجد هذه الأجهزة على أشكال متعددة وإن كانت الغاية واحـــدة. مـــن هـــذه الأجهزة ما هو مكون من وحدات منفصلة (Modular) تجمع مع بعضها عند الحاجة (علـــى سبيل المثال تكون وحدة قياس المسافات منفصلة عن الثيودوليت) ومنها ما تُشكل أجزاؤه وحدة واحدة متصلة (Self Contained) كذلك بعض هذه الأجهزة يسمح بإجراء العديد من العمليات الحسابية ميدانياً وبعضها مصمم بحيث يجري التعامل مع المعلومـــــات الميدانيـــة (المسجلة أتوماتيكياً على كرت خاص) في المكتب بالاستعانة بحاسوب يمكنّ من أجـــــراء الحسابات وأعمال الرسم اللازمة . يجدر بالذكر هنا أنه يمكن الاستعانة ببرامج الأوتوكاد (auto CAD) لأعمال الرسم وإخراج المخططات والخرائط المتنوعة .

5 - 4 - 3 مجالات استخدام أجهزة المحطة الشاملة :

هناك مجالات متعددة للإفادة من أجهزة المحطة الشاملة، نذكر منها :-

1 - المسح التفصيلي .
2 - المشاريع الهندسية (توقيع المباني والطرق وخطوط المجاري والميـــاه وأقنيـــة الـــري ...الخ).
3 - التضليع (مساحة المضلعات).
4 - أعمال المسح الدقيق .
5 - المسح الطبوغرافي بكافة أشكاله .

5 - 4 - 4 مساوىء استخدام أجهزة المحطة الشاملة :

يمكن تلخيص مساوىء استخدام أجهزة المحطة الشاملة على الشكل التالي :-

1 - يصعب إجراء التحقيق الميداني أثناء أخذ القياسات إذ لابد من العودة إلى المكتب واخراج الحسابات والرسومات ومن ثم إجراء تحقيق شامل .

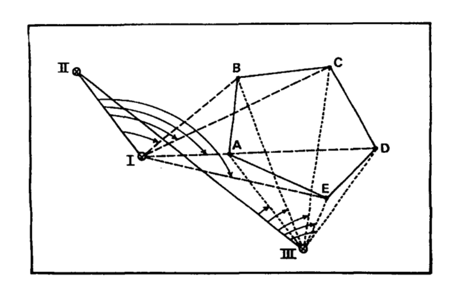
2 - يلزم استخدام فلتر خاص عند رصد الشمس وإلاّ تعرضت وحدة قياس المسافات الإلكترونية (EDM) للعطب .

3 - أحياناً تنعكس الإشارة الكهرومغناطيسية من شئ (جسم ما أو سطح عاكس ما) غير العاكس نفسه .

5 - 4 - 5 التضليع بواسطة جهاز المحطة الشاملة [م46] [م47] [م48] [م49] [م54]

فيما عدا حالات المضلعات ذات الأضلاع الطويلة (تتجاوز في أطوالها الكيلومتر) يمكن تلخيص خطوات العمل على الشكل التالي (شكل 5 - 4) :

أ - يثبت الجهاز رأسياً فوق نقطة مناسبة (I) داخل أو خارج المضلع أو حتى فوق أحد أركان المضلع ذات مع مراعاة أن يكون موقع هذه النقطة المختارة معلوما أو مفروض الإحداثيات ويجري ضبط رأسية وأفقية الجهاز تماماً في هذه المحطة .



شكل 5 - 4 التضليع بجهاز المحطة الشاملة

ب - يوجه منظار الجهاز باتجاه نقطة أخرى (II) معلومة الإحداثيات أو تشكل مع محطة الرصد (المحطة المثبت فوقها الجهاز) خطاً معلوم الأزموث (الإنحراف الكلي عن الشمال) أو سيجري قياسه بالرصد الفلكي أو باستخدام البوصلة (إذا كان موضوع الاتجاهات غير مهم أو مطلوب بشكل دقيق)، لاحظ أنه يمكن حساب أزموث خط بمعلومية إحداثيات طرفية (في مثالنا هذا I و II).

جـ- يغذي الجهاز بإحداثيات نقطة الرصد (I) وبأزموث الضلع (I-II) ،سواء كانت معلومة أو افتراضية ، وبارتفاع مركز الجهاز فوق نقطة الرصد وكذلك بارتفاع مركز العاكس فوق ركن للضلع الذي سيتم رصده (وارتفاع الهدف المرصود فعلياً فوق الركن المرصود إذا لم يكن بالإمكان رؤية مركز العاكس وبالتالي قياس الزاوية الرأسية بشكل دقيق لغايات إجراء التصحيح اللازم في حسابات للسافة الأفقية وفرق الإرتفاعات ، كما سيتضح في الأمثلة اللاحقة).

د - تصفَّر دائرة الزوايا الأفقية بينما الرصد باتجاه النقطة (II) من النقطة (I) .

هـ- الآن يلف المنظار باتجاه دوران عقارب الساعة لرصد كافة أركان المضلع (إذا أمكن رؤيتها جميعاً من محطة الرصد I التي يجري عادة اختيارها واختيار أركان الضلع نفسه بحيث تحقق هذا الهدف المتمثل بإمكانية رؤية كافة أركان المضلع من محطة رصد واحدة وهي في مثالنا هذا المحطة I). من الطبيعي أن يجري تثبيت العاكس (بالعدد المناسب واللازم من العلمات العاكسة) فوق كل ركن من أركان المضلع (E, D, C, B, A) عند إجراء الرصد باتجاهه لغايات القياس والتسجيل الآلي للمسافات والزوايا (الأفقية والرأسية).

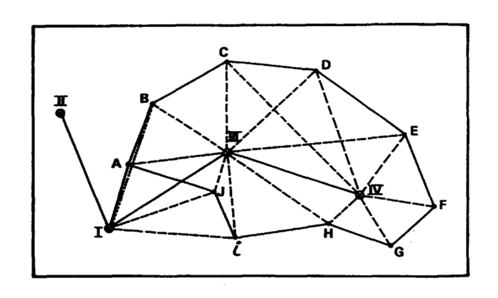
و - الآن بوسع جهاز المحطة الشاملة الأتوماتيكي حساب وتخزين وإظهار (على شاشة الجهاز نفسه) قيم الزوايا الأفقية والرأسية والإنحرافات (Azimuths) وللمسافات الأفقية والمائلة لخطوط القياس (IE, ID, IC, IB, IA) وكذلك إحداثيات أركان المضلع (E,D,C, B, A) وفروق الارتفاعات أو/و المناسيب (إذا تم تغذية الجهاز بالمنسوب المعلوم أو المفروض لنقطة الرصد I) ومعلومات أخرى وفقاً للمطلوب ولنوع الجهاز ونوع

وعدد وكفاءة برامج الحاسوب وللملحقات الأخرى (أدوات حساب وتجميع وتسجيل وتخزين للعلومات الالكترونية).

ز - الآن يجري الإنتقال إلى محطة رصد جديدة بجوار المحطة السابقة (I) ، ولتكن (III) في الشكل (2-7) شريطة أن تكون إحداثياتها معلومة وتتبع نفس المرجعية للعتمدة لمحطة الرصد الأولى(I).نقوم الآن باتباع نفس الخطوات الواردة أعلاه (البنود إلى و) مع تغيير فقط موقع محطة الرصد من (I) إلى (III). وعند توافق أو تقارب النتائج يجري اعتماد القيم المتوسطة للمسافات والانحرافات وللناسيب (أو/و فروق الارتفاعات) والاحداثيات الناتجة عن عمليتي الرصد من كلتا المحطتين (I) و (II) .

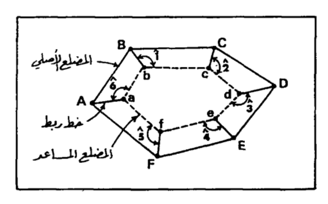
ملحوظات :

1 - عندما يكون للضلع كبيراً أو/و عدم إمكانية رؤية كافة أركان للضلع من محطة رصد واحدة، عندها يمكن اتباع نفس الخطوات السابقة ولكن باختيار عدد أكبر من محطات الرصد ، شكل (5-5) .



شكل 5 - 5 تحديد مواقع أركان قطعة أرض مضلعة كبيرة بالرصد من أكثر من محطة واحدة وذلك بطريقة الإشعاع (Radiation)

كذلك يمكن عمل مضلع مساعد ضمن المضلع الكبير حيث يجري استخراج إحداثيات أركانه إمّا بطريقة الإشعاع أو بالطريقة العادية والأكثر دقة (تثبيت الجهاز في كل ركن من أركان المضلع ورصد الركن السابق والركن اللاحق لغايات قياس أطوال وانحرافات كافة أضلاع المضلع وبشكل مباشر) وبعد ذلك يجري قياس الزاوية ($\hat{1}$) والمسافة (B_b) لتحديد احداثيات الركن (B) ثم قياس الزاوية ($\hat{2}$) والمسافة (C_c) لتحديد احداثيات الركن (C) وهكذا يجري قياس بقية الزاوية ($\hat{3}$),($\hat{4}$),($\hat{5}$),($\hat{6}$) وكذلك بقية خطوط الربط (Tie Lines) A_a, D_d, E_e, F_f لتحديد إحداثيات باقي الأركان F,E,D,A على التوالي، انظر الشكل (5 - 6) . تفيد هذه الطريقة كثيراً في تحديد مواقع أركان قطع الأراضي التي يصعب رصدها بسهولة أو تثبيت الجهاز فوق أركانها مباشرة . في حالة استخدام المضلع المساعد (Auxiliary Traverse) داخل مضلع القطعة الكبير، يراعى أن تكون أركان المضلع المساعد في مواقع تمكن من قياس مسافات خطوط الربط (A_a , B_b..... إلخ) والزوايا الخاصة بتحديد الانحرافات $\hat{1}$,$\hat{2}$,$\hat{3}$.......(الخ) . في حالة استخدام أكثر من محطة رصد واحدة ، يراعي أن يرصد كل ركن مرتين على الأقل (من محطتي رصد على الأقل) لغايات حساب إحداثيات الأركان مرتين على الأقل وأخذ القيم المتوسطة وذلك إذا أردنا تحقيق دقة أعلى[م33] [م45] [م46] [م54] .

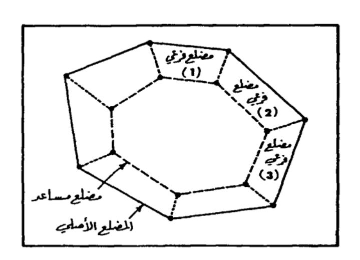


شكل 5 - 6 استخدام مضلع مساعد لتعيين مواقع أركان مضلع أو قطعة أرض أكبر

2 - إذا كانت الدقة المطلوبة عالية جداً فلابد من الرصد من كل من أركان المضلع (أي لابد من تثبيت الجهاز فوق كل ركن من أركان المضلع ورصد المحطة السابقة (الركن السابق) والمحطة أو الركن اللاحق وإجراء التدقيق اللازم وعمل التعديل (Adjustment) ، أي تكسير الأخطاء الزاوية والخطية .

3 - يطلق على التضليع بالاستعانة بمحطات رصد خارج أو داخل المضلع المطلوب (السابق شرحه)، أي من دون احتلال كافة أركان المضلع، بطريقة الاشعاع (Radiation) ومن عيوب هذه الطريقة أنه لا يمكن تحديد دقة القياسات أو العمل المساحي علماً بأنه يمكن تحقيق دقة تصل إلى (1/10000) عند مراعاة الدقة وباستخدام أجهزة مصانة ومضبوطة وبإشراف وتنفيذ للمساحين الأكفاء . على أي حال، يتوجب إجراء بعض عمليات التحقق عندما تستخدم طريقة الإشعاع في التضليع. ومن بين عمليات التحقق هذه (وزيادة الدقة) إعادة القياس من محطة رصد أخرى ومقارنة النتائج وأخذ المعدّل في حالة تقارب هذه النتائج وإعادة القياسات عند تباعدها. كذلك يمكن أجراء التحقق من خلال القياس المباشر لبعض المسافات (أطوال ضلع أو أكثر من أضلاع المضلع) بواسطة الشريط أو الدستومات ومقارنة النتائج هذه بتلك المستخرجة بطريقة الإشعاع .

4 - يمكن أيضاً التعامل مع المضلع المساعد بأن يصار إلى تشكيل مضلعات فرعية يجري حساب إحداثيات أركانها (بطريقة رصد مناسبة ، إما بطريقة الإشعاع أو بالطريقة العادية وحساب خط القفل أو التكسير (Closure Error) لكل مضلع فرعي ومن ثم معرفة إن كانت هذه المضلعات الفرعية تتوافق بشكل مقبول مع المضلع الكبير ذاته، شكل (5-7) .

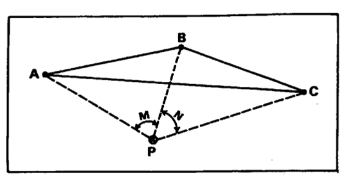


شكل 5 - 7 الاستعانة بمضلع مساعد ومضلعات فرعية في
تحديد مواقع أركان مضلع كبير

5 - 4 - 6 التقاطع العكسي بواسطة جهاز المحطة الشاملة :

تتلخص طريقة التقاطع العكسي (Resection) في إيجاد إحداثيات نقطة (P) من خلال رصد ثلاث نقاط أخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات (C, B, A) شكل (11-2) . من أجل ذلك يجري تثبيت جهاز المحطة الشاملة فوق النقطة مجهولة الاحداثيات (P) وبعد اتمام عمليات الضبط الأفقي والرأسي للجهاز واجراءات التشغيل يجري رصد النقاط الثلاث معلومة الإحداثيات (C,B,A) من محطة الرصد P (موقع النقطة مجهولة الاحداثيات) لغايات قياس الزاويتين الأفقيتين $(\hat{N}, \hat{M})$.

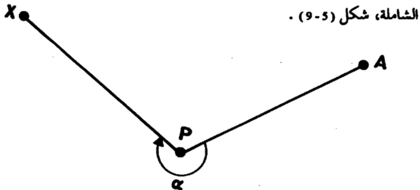
الآن بمعلومية الزاويتين $(\hat{N}, \hat{M})$ وإحداثيات النقاط(A), (B), (C) يمكن حل كافة للمثلثات ذات العلاقة بإيجاد إحداثيات النقطة (P) (كما سنبين ذلك في موضوع التقاطع العكسي الذي سيرد لاحقاً في الفصل السادس) ، شكل (5-8) .



شكل 5 - 8 فكرة التقاطع العكسي

إن جهاز المحطة الشاملة مبرمج بحيث يمكّن بعد تغذيته بقيـــم الزاويتـــين ($\hat{N},\hat{M}$) وبإحداثيات النقاط الثلاث على الأقل (C . B . A) من حساب وتخزين وإظهار إحداثيات النقطة مجهولة الإحداثيات (P) .

ولغايات التحقق ومعرفة مدى الدقة في تعيين إحداثيات النقطة (P) يمكن رصـــد نقطة رابعة معلومة الإحداثيات . الآن وبعد تحديد إحداثيات النقطة (P) ، والتي قد تكون نقطة ضمن موقع مشروع أو غيره، يمكن اعتبار الخط (PC) أو (PB) أو (PA) خطاً مرجعياً (حيث إحداثيات الطرفين معلومة وبالتالي يمكن استخراج الأزمـــوث لأي مـــن هـــذه الخطـــوط المرجعية بجانب معرفة الإحداثيات بالطبع للنقطة P) . وبالتـــالي يمكـــن الآن تعيين إحداثيات أي نقطة (X) ضمن المشروع وذلك بتثبيت عاكس فوق هذه النقطة أو تلك وقياس الزاوية (α) والمسافة الأفقية (PX) برصد مركز العـــاكس بجـــهاز المحطـــة الشاملة، شكل (5-9) .



شكل 5 - 9 تعيين احداثيات نقطة جديدة

5 - 5 مقارنة بين الأجهزة الكهروبصرية وأجهزة الموجات الدقيقة :

يمكن القول بأن الأجهزة الكهروبصرية أكثر استخداماً وشيوعاً ورغبة من أجهزة الموجات الدقيقة وذلك نظراً للفروق الأساسية التالية :

1 - تتأثر أجهزة الموجات الدقيقة (Microwave Instruments) بشكل كبير بالعوامل الجوية (Atmospheric Conditions) وخصوصاً الرطوبة بينما نجد الأجهزة الكهروبصرية أقل حساسية وتأثراً .

2 - في كثير من التطبيقات الانشائية ، على سبيل المثال قياس التشوهات والازاحات في المباني والجدران والسدود، يصعب استخدام وحدتين للقياس في آن واحد وبالتالي فإن استخدام الأجهزة الكهروبصرية يكون أمراً مفضلاً ونادراً ما نلجأ إلى استخدام أجهزة الموجات الدقيقة لمثل هذه التطبيقات (داخل أو بين الأبنية الكثيفة أو قرب السطوح المائية أو تحت سطح الأرض نظراً للتسبب في اتساع زاوية الحزمة المايكروية .

3 - يتطلب الأمر وجود مساحين إثنين وبشكل دائم أثناء القياس بأجهزة الموجات الدقيقة (واحد لكل وحدة قياس) بينما يكتفي بمساح واحد في حالة الأجهزة الكهروبصرية مع ملاحظة أنه يكتفي بتثبيت العاكس وتركه أثناء عملية القياس. كذلك يتطلب استخدام الأجزة المايكروية توفر جهازين أحدهما للإرسال والآخر للاستقبال مع وجود اتصال هاتفي بينهما.

4 - إذا اصطدمت الحزمة الكهرومغناطيسية المرسلة من أحد أجهزة الموجات الدقيقة بأية سطوح أو أجسام تعترض خط سيرها فسوف تنخفض درجة الدقة. ذلك لأن حزمة الأشعة المنطلقة من جهاز للموجات الدقيقة هي على شكل مخروط بعرض 1.50° تقريباً وبالتالي فإن إي جزء من هذه الحزمة يصطدم بأي سطح سينشأ عنه انعكاسات معينة ربما يصل بعض منها إلى وحدة الاستقبال في جهاز الإرسال فيجري تفسيرها خطأ إذ لا تستطيع هذه الوحدة تمييز الانعكاسات الصحيحة من الخاطئة . يعتبر موضوع الانعكاسات هذا أمراً مهماً خصوصاً عند القياس للمسافات الطويلة التي تجتاز الأنهار والبحيرات والسهول المنبسطة .

5 – ترسل الأجهزة المايكروية موجات كهرومغناطيسية بأطوال تقع في المجال (10-100μm) بينما ترسل الأجهزة الكهروبصرية موجـــات كهرومغناطيسية بأطوال في المجـــال (0.4 -1.2μm) .

6 – عند مقارنة أجهزة كهروبصرية بأجهزة تعمل على الموجـــات الدقيقـــة وبنفـــس الأسعار، نجد بشكل عام أن الأجهزة الكهروبصرية أكثر دقة .

ملحوظة :

تستطيع الموجات المايكروية اختراق أجواء الضباب والمطر أثناء القيـــاس بشكـــل يتميز بكثير عن الأجهزة الكهروبصرية

5 - 6 مصادر الأخطاء عند القياس بالأجهزة الكهروبصرية [م17] [م24] [م33]

Sources of Measurement Errors in Using Electo- Optical Devices

من مصادر الأخطاء عند القياس بالأجهزة الكهروبصرية ما يلي :

1 – أخطاء ناشئة عن عدم الدقة الكاملة في قياسات الطور Phase Measurement.

2 – أخطاء ناشئة عن عدم انطباق موقع نقطة انطلاق الشعاع الضوئي مـــــع موقـــع نقطة مركز الجهاز وأخطاء أخرى ناشئة عن عدم انطباق مركز العاكس الفعلـــــي (حيث تنعكس الأشعة) مع المركز النظري (التصميمي) للعاكس .

3 – عدم تمركز جهاز القياس و/أو العاكس تماماً فوق المحطة (محطة الرصد أو المحطـــــة المرصودة). يمكن هنا تقليل الخطأ باستعمال أدوات دقيقة ومناسبة لضبط الرأســـية وببذل المزيد من الدقة والانتباه .

4 – أخطاء ناشئة عن اختلاف قيم الـــترددات التعديليـــة الفعليـــة (Actual Modulation Frequencies) عن القيم النظرية لهذه الترددات .

5 – أخطاء ناشئة عن ظروف القياس الجوية ، على سبيل المثال يصعب تحديـــد قيمـــة معامل الانكسار للهواء (Index of Refraction of the Atmosphere) عند كل نقطة علـــى طول الخط المقيس لخطة القياس بواسطة الجهاز الالكتروني . عملياً يجـــري قيـــاس درجة حرارة الهواء لأقرب 1 C° ومقدار الضغط الجوي لأقرب 2 مم زئبق (2mm Hg) قرب جهاز القياس ولمرة واحدة فقط . على أي حال ، يمكن ، عند الحاجـــــة إلى

نتائج دقيقة جداً ، اللجوء إلى قياس معامل الانكسار عند طـــرفي خـــط القيـــاس واعتماد القيمة المتوسطة . كذلك يمكن الطيران فوق خط القياس بهـــدف تحديـــد قيمة أدق لمعامل الانكسار من خلال إجراء قياسات أكثر عدداً .

إن الأخطاء الناشئة عن قياسات الطور وعدم تمركز جـــهاز القيـــاس أو العاكس فوق المحطة المعتبرة هي أخطاء عشوائية (Random Errors) بينمـــا الأخطـــاء الناشئة عن عدم التطابق بين مركز انطلاق الأشعة ومركز الجهاز وكذا عدم تطابق مركز العاكس الفعلي مع مركز النظري هي أخطاء ثابتة (Constant Errors). كذلك لا علاقة بين هذه الأخطاء (الثابتة والعشوائية) وبين طول المسافة المقيسة. في المقابل نجد أن الأخطاء الناشئة عن عدم الدقة في تعيين معامل الانكسار الوسطى وتلـــك الناشئة عن عدم تطابق قيم الترددات الفعلية مع قيم الترددات النظرية هي أخطـــاء متناسبة طردياً مع أطوال المسافات المقيسة . بعبارة أخرى، إن الخطأ الثابت هـــو المسيطر في حالة الأخطاء الثلاثة الأولى بينما يعتبر الخطأ المتغير هو المسيطر في حالة الخطأيـــن الأخيرين (الرابع والخامس). على سبيل المثـــال، إذا وجـــد أن الخطـــأ المتوسط التربيعي (Root - Mean - Square, rms, Error) هو: (10mm + 2ppm) ± فمعنى هذا أن الخطأ المتوسط التربيعي الناشيء عن الأخطاء الثلاثة الأولى يبلغ 10m ± بغـــض النظر عن طول المسافة المقيسة بينما يكون الخطأ المتوسط التربيعي النـــاشيء عـــن الخطأين الأخيرين مساوياً 2ppm ± (أي 2/1000 000) من المسافة المقيسة .

ملحوظات :

يمكن التقليل من الأخطاء الناشئة عن الشـــروط الجويـــة (Atomspheric Conditions) وقياسات الطور (Phase Measurement) من خلال إعادة القياس عدة مرات لنفس المســـافة وأخذ القيمة المتوسطة .

يمكن التقليل من الأخطاء الناشئة عن عدم تمركز جهاز القياس و/أو العاكس فوق المحطة بإعادة القياس من خلال التبادل بين الجهاز والعاكس في احتلال كل من طرفي خط القياس .

إن إعادة القياس لا يساعد في تقليل الأخطاء الناشئة عن : (1) عدم تطابق مركز العاكس الفعلي مع المركز النظري له ، (2) اختلاف قيم الترددات التعديلية الفعلية عـــن القيم النظرية لها ، و(3) اختلاف موقع نقطة انطلاق الأشعة مع موقع نقطة مركز الجهاز.

5 - 7 العوامل المؤثرة على دقة أجهزة قياس المسافات الالكترونية [م33] [م37] [م54]

من بين التي تؤدي إلى إعاقة في عمل أجهزة قياس للمســـافات الإلكترونيـــة أو/و انخفاض في دقتها ما يلي :

أ - ضعف البطارية أو عدم وصلها تماماً بالجهاز أو وجود خلل في البطارية ذاتها أو أداة الوصل الكهربائية .

ب - خطأ في لمس أو تحريك الزر الصحيح .

جـ- عدم تثبيت الدستومات بشكل صحيح فوق منظار الثيودوليت .

د - عدم كفاية العدسات العاكسة (المسافة المراد قياسها أطوال من مدى الجهاز) ممـــا يتسبب في ضعف الإشارة الكهربائية المنعكسة خصوصاً أثناء القياس مـــع وجـــود الضباب أو الثلج أو المطر والغبار (التي من شأنها التقليل من مدى الرؤية).

هـ- وجود عوائق على مسار القياس مؤثرة سلباً على استمرارية الإشـــارة أو الحزمـــة الضوئية المرسلة من الجهاز باتجاه العدسات العاكسة فوق الهدف المرصود .

و - وجود الأوساخ والغبار والدقائق المشوشة الأخرى على أسطح عدســـات الجـــهاز أو/و العدسات العاكسة.

ز - عدم تثبيت جهاز القياس و/أو العاكس فوق النقطة المعتبرة تماماً .

حـ- عدم قياس ارتفاع كل من جهاز القياس والعاكس أثناء أخذ القياسات .

ط _ عدم قياس أو أخذ قياسات العوامل الجوية (الحرارة والضغط الجوي) بشكل دقيق.

ي - التغيرات في درجات الحرارة والضغط الجوي خلال فترة العمل بالأجـــهزة (مـــع ملاحظة أن بعض أجهزة القياس الإلكترونية تقوم بشكل اتومـــاتيكي بتصحيـــح الأخطاء الناجمة عن الاختلافات في الضغط الجوي ودرجة الحرارة والبعض الآخـــر يحتاج إلى إدخال التصحيحات بموجب علاقات رياضية أو جـــداول ومنحنيـــات (رسوم بيانية) خاصة بكل جهاز تعدّه الشركة الصانعة).

ق - إن أجهزة القياس الإلكترونية المايكروية (Microwave Instruments) تحتاج إلى التصحيح الخاص بالحرارة والضغط والرطوبة (Humidity) وليس فقط إلى التصحيح الخاص بالضغط والحرارة كما هو الحال بالنسبة للأجهزة الكهروبصرية (Electro-optical) حيث يمكن إهمال عامل الرطوبة الذي يؤثر عليها بأكثر من واحد بالمائة من تأثيره على الأجهزة المايكروية. بقي أن نقول هنا أنه عند قياس المسافات الطويلة في مناطق غير متجانسة في مناخها وحيثما أريد تحقيق دقة عالية، يراعى أخذ القياسات الجوية بجوار طرفي المسافة .

ل - عدم حماية أجهزة القياس (الخاصة بقياس المسافات والعوامل الجوية معاً) من أشعة الشمس الحارة المباشرة أثناء عملية القياس. في مثل هذه الظروف (القياس في جو مشمس حار) يتوجب استخدام مظلة مناسبة وبالإضافة إلى ذلك يراعى ما أمكن عدم القياس باتجاه الشمس عند استخدام الأجهزة الكهروبصرية بل يكون اتجاه التسديد بعيداً عن الشمس لتجنب تأثير الإشعاعات .

م - القياس باستخدام الأجهزة المايكروية بالقرب من خطوط الضغط الكهربائي العالي أو الأبراج المايكروية (Microwave Towers) تؤدي إلى انخفاض الدقة .

ن - كون خطوط النظر (خطوط التسديد) قريبة من سطح الأرض مما يؤثر على دقة الجهاز بسبب ظاهرة الوميض (Shimmering Phenomenon) .

ك - كل جهاز يحمل خطأ معيناً ولكن الأنواع المختلفة من الأجهزة ليست على نفس المستوى من الدقة. بشكل عام كلما ارتفع ثمن الجهاز كلما كانت الدقة المتوخاه منه أفضل .

ع - لا يتطابق أو بالأحرى لا يقع مركز إطلاق الطاقة من الجهاز على خط رأسي واحد مع محطة الرصد كما لا يقع مركز انعكاس الطاقة من العاكس على خط رأسي واحد مع الهدف المرصود (حيث يثبت العاكس). يجري عادة حساب الفرق وإدخال التصحيح اللازم من قبل صانع الجهاز بشكل أو آخر، أو ربما إجراء التصحيح ميدانياً ولابد هنا من مراجعة كاتلوج الجهاز مع ملاحظة نوع العاكس (والفرق الخاص به) الذي سيستخدم مع جهاز القياس في الميدان. كذلك لابد من

معايرة الجهاز كل حوالي ستة شهور على الأكثر نظراً لاحتمال تغير الأخطاء الثابتة المشار إليها في الكاتلوج. تجري عادة للمعايرة باستخدام خط أساسي مقيس للمسافة بشكل دقيق جداً على أن يؤخذ بعين الاعتبار كافة التصحيحات العائدة لفروق الارتفاعات والعوامل الجوية وغيرها. إن الحاجة لمعايرة الأجهزة الألكترونية قائمة (حتى مع الاستعمال الجيد وشروط الحفظ الجيدة لها) ويراعى أن تجري عملية المعايرة على أيدي متخصصين .

5 - 8 الأخطاء الثابتة والمتغيرة في قياس المسافات بالأجهزة الالكترونية :

عند مناقشة الأخطاء في المسافات المقيسة بواسطة الأجهزة الالكترونية، لابدّ من التمييز بين الأخطاء الثابتة والمتغيرة . أمّا الخطأ الثابت (Constat Error) فكل الأجهزة الالكترونية تعاني منه وهو على أيّ حال صغير إذ يتراوح بين ±6 to ±15mm . الخطأ الثاني المتغير يتناسب مع مقدار المسافة المقيسة ويتراوح بين جزئين إلى عشرة أجزاء من كل مليون جزء ((2 to 10 parts per million (ppm)) أي لا يتجاوز 1cm لكل 1 km من المسافة المقيسة .

من الطبيعي أن يؤثر الخطأ الثابت على دقة قياس المسافات القصيرة أكثر من تأثيره على دقة المسافات الطويلة إذ يصبح هذا الخطأ صغيراً نسبياً بازدياد المسافة المقيسة بينما ، وعلى العكس من ذلك، نلاحظ أن الخطأ المتغير يزداد بازدياد المسافة وبالتالي يزداد تأثيره بازدياد المسافة المقيسة . على سبيل المثال، في قياس مسافة مقدارها 50 m باستخدام جهاز EDM خطأه الثابت ±1 cm وخطأه المتغير 5 ppm يكون مقدار الخطأ النسبي العائد للخطأ الثابت مساو :

$$\pm\frac{1cm}{50\times100cm}=\frac{1}{5000}=200\text{parts per million(i.e200ppm)}$$

وهذا يكبر الخطأ المتغير للجهاز بأربعين مرة بينما نجد قيمة الخطأ للتغير المتناسب مع المسافة المقيسة لا تتعدى :

$$\pm(\frac{5}{1000\,000}\times50m)=\pm0.025cm$$

وهذا المقدار أصغر من الخطأ الثابت بأربعين مرّة $(\frac{1cm}{0.025cm}=40)$

أي بعبارة أخرى يعتبر الخطأ المتغير مهملاً في حالة المسافات القصيرة . في حالـــة المسافات الطويلة نجد عكس ذلك تماماً،إذ لو استخدم نفس جهاز الـــ EDM لقياس مسافة طولها 10 km بدلا من 50 m لكان الخطأ النسبي للخطأ الثابت لهـــذا الجـــهاز (±1cm) مساوياً .

$$\pm\frac{1cm}{10\,000\times 100cm}=\frac{1}{1000\,000}=1\,ppm$$

وهذا بالطبع خطأ صغير مهمل (لاحظ أنه أصغر من الخطأ المتغير للجهاز، والبالغ 5ppm، بخمس مرات).

أما الخطأ المتغير لنفس الجهاز المساوي 5ppm فيصبح كبيراً في هذه الحالة إذ يساوي:

$$\pm(\frac{5}{1000\,000}\times 10\,000m)=\pm 5cm$$

وهذا يعادل خمسة أضعاف الخطأ الثابت .

إن مجموع الخطأين الـــ (الثابت والمتغير) للمسافة المقيسة، أي 10 km، يساوي :

$$\pm(1\text{ cm}+5\text{ cm})=\pm 6\text{ cm}$$

والخطأ النسبي لهما يعادل 6 ppm أو :

$$\pm(\frac{6}{10000\times 100cm})=\pm\frac{1}{166\,666}$$

يعود الخطأ الثابت للجهاز الالكتروني (Instrumental Error) بشكل رئيسي إلى عـــدم وقوع مركز إرسال الموجات الكهرومغناطيسية في الجهاز الالكتروني رأسيا فـــوق محطة القياس (EDM Station) وكذلك عدم وقوع المركز البصري للعاكس راسياً فوق محطة العاكـــس (Reflector Station) في حالة استخدام الأجهزة الكهروبصرية (Electro-Optical Equipment) .

للتأكد من عدم تجاوز خطأ الجهاز الثابت القيمة المعطاة من قِبل الصـــانع، يمكـــن على سبيل المثال – كأحد الحلول – استخدام الجهاز الالكتروني المراد معايرتـــه في قياس للمسافة بين طرفي خط أساس (Base Line) ذي طول معلوم بدقة عالية ثم مقارنة نتيجة القياس، بعد تصحيحها من تأثير الأحوال الجوية وأية تأثيرات نظامية أخرى، بالطول المعلوم للخط الأساسي. بالطبع الخطأ المتغير للجهاز يعتبر في هـــذه الحالـــة مهملاً نتيجة لصغر المسافة .

ملحوظة :

إذا أجريت للمسافات المقيسة باستخدام الأجهزة الألكترونية جميع التصحيحات المتعلقة بالأحوال الجوّية (حرارة، رطوبة، ضغط)، وتمت القياسات اللازمة لحساب المسافة بدقة عالية، وكان الجهاز مضبوطاً ومدققاً عليه، فإنه يمكن الحصول على دقة أفضل من 1/50 000 (أي بخطأ 1 cm لكل 500 m من المسافات المقيسة) لجميع المسافات التي تتعدى أطوالها الكيلومتر الواحد ودقة أفضل من (1/25000) للمسافات التي تتراوح أطوالها بين 0.5 to 1 km . بالطبع لايمكن الحصول على مثل هذه الدقة باستخدام الشريط ولو اتخذت كل الاحتياطات الحقلية الضرورية وتمت التصحيحات النظامية ومع ذلك يمكن التفكير باستخدام الشريط في حالة المسافات القصيرة جداً ، أي بضع عشرات من الأمتار، وفي ظروف طبوغرافية أو فنية أو اقتصادية معينة. إن هذا يعود بشكل رئيس للتأثير الكبير للخطأ الثابت على المسافات القصيرة، كما ذكرنا أعلاه .

5 - 9 ملحوظات عامة [م17] [م33] [م37] [م54]

1 - إن أجهزة قياس المسافات الالكترونية تستخدم موجات بذبذبات معدّلة ثابتة (Constant Modulation Frequency) وبالتالي فعند تغير سرعة انتشار الضوء أو الموجات الدقيقة في الوسط الهوائي نتيجة تغير الشروط الجوية المحيطة من ضغط وحرارة ورطوبة، يتغير طول الموجة على أساس أن : طول الموجة × التردد = السرعة. فمع بقاء التردد ثابتاً يتغير طول الموجة بتغير السرعة ، إذن لابد من إدخال عامل تصحيح (Correction Factor) لتعويض هذا التغير في طول الموجة والناشيء كما ذكرنا عن التغيرات في الشروط الجوية عند إجراء عملية القياس. يزوّد عادة صانع الجهاز الالكتروني جداول ونوموغرامات (Tables and momograms) تعطي مقدار عامل التصحيح C_m للشروط الجوية (C_m : Meteorological Correction) بدلالة الضغط (Pressure) والحرارة (Temperature) . إن عامل التصحيح هذا يعتمد أيضاً على طول الموجة المستعملة. في حالة استعمال الأجهزة الالكترونية التي تعمل على الأشعة

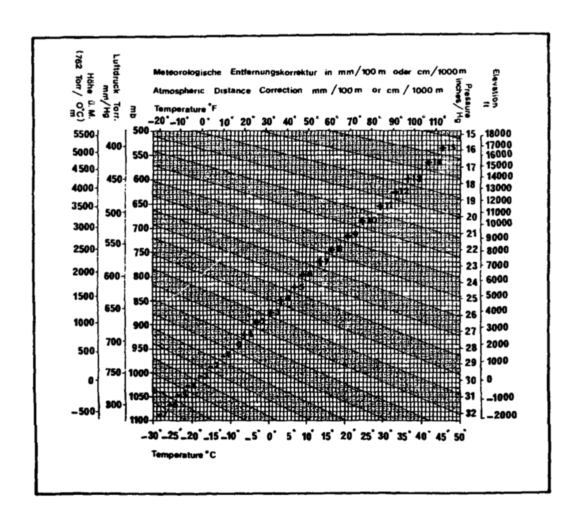
تحت الحمراء (Infrared EDM's) فإن عامل التصحيح C_m هو نفسه لجميع هذه الأجهزة نظراً لكونها تستعمل نفس للموجة الحاملة (Carrier Wave).

الأبـــاك أو النوموغرام، شكل (5-10) ، يستخدم لإيجاد قيم عامل التصحيـــــح C_m الواجب إدخالها على للمسافات المقيسة بواسطة جهازي Kern DM 502, DM 500 Kern مقدرة بعدد من المليمترات لكل مئة متر (mm/100m) . من الضروري ملاحظة أن التصحيحات يمكن أن تكون بالزيادة أو بالنقصان (موجبة أو سالبة) كمـــا هـــو واضح من النوموغرام.

2 - عند قياس مسافات طويلة (عشرات الكيلومترات) فيتعين إجراء قياسات الأحوال الجوّية بشكل دقيق نظراً لتأثيرها البالغ على نتائج القياسات . لذا يستحسن أخـــذ قياسات الحرارة والرطوبة والضغط عند عدة مواقع متوسطة مميزة بين طرفي الخـــط المـــراد قياسه بالجهاز الإلكتروني ومن ثمّ أخذ معدّل القراءات لمختلــــف البنـــود وإجراء التصحيح اللازم على أساس هذه القيم المتوسطة. في حالة المسافات القصيرة (بضع مئات من الأمتار) والمسافات المتوسطة (بضع كيلومترات) يمكن الاقتصــــار على أخـــذ قراءات للأحوال الجوّية عند طرفي للمسافة فقط وأخذ معدّل القراءات . في حالة المسافات الطويلة جداً (مئات الكيلومترات) قد يلزم أحياناً الطيران فـــوق الخطوط وهذا بالطبع يؤدي إلى دقة أعلى في أجواء التصحيحات علــى الأحـــوال الجوية.

3 - في بعض الأجهزة مثل Kern Dm 502 – وكما ذكرنا ســـابقاً – يتـــم الاســـتعانة بنومرغرام (Nomogram) خاص لتصحيح الأخطاء الناجمة عن الأحوال الجوية والبعض الآخر مثل Hewlett - Packard 3800 يمكّن من إجراء التصحيح للتغيرات الجوية مباشرة في أثناء عملية القياس ودون الحاجة إلى جداول أو رسوم.

4 - من الضروري تجنب الأخطاء الشخصية (Personal Errors) في أثناء عمليـــة القيـــاس بالأجهزة الالكترونية . من هذه الأخطاء على سبيل المثال، عدم الدقة في تثبيـــــت الجهاز رأسياً فوق محطة القياس (Improperly Setting over the Station)، خطـــأ القـــراءة



شكل 5 - 10 قيم عامل التصحيح Cm الواجب إدخالها على المسافات المقيسة بواسطة جهازي Kern DM 500, 502 الالكترونيين ، على سبيل المثال فقط [م51]

(Misreading) ، عدم قياس درجة الحرارة أو قيم الضغط والحـــرارة بدقة ...الخ، (انظر الشكل 5- 10).

5 - من العوامل التي تؤثر على المدى الذي يمكن أن يبلغه جـــهاز قيـــاس المســـافات الإلكتروني ، نذكر :

أ - نوع الجهاز من حيث التصميم (بشكل خاص).

ب - نوع العاكس المستخدم مع الجهاز .

جـــ- عدد العواكس المستخدمة في وقت واحد أثناء القياس .

د - الشروط الجوية .

6 - يفضل أن يكون لدى العاملين على أجهزة المساحة الإلكترونية خلفيـــة جيـــدة في مواضيع الفيزياء والرياضيات والإلكترونيات.

7 - يفضل إصلاح وصيانة الأجهزة (صيانة رئيسية) وتعديلها على أيدي متخصصـــين من نفس الشركة الصانعة.

8 - مثلما أن القياسات باستخدام أجهزة الدستومات يمكن أن تكون دقيقة جداً فـــهي أيضاً يمكن أن تكون خاطئة جداً في غياب الكفاءة لدى العاملين على هذه الأجهزة والإلمام ببرامجها لا يستغرق الوقت الطويل ولا يتطلب خلفية علمية قويـــة نظـــراً لأن معظم العمليات الميدانية والحسابية (الخاصة بالقياسات المأخوذة بواسطة هـــذه الأجهزة) تتم أتوماتيكياً. وعليه ينصح بإنفاق ما بـــين (% 5) إلى (10%) مـــن ثم الأجهزة على تدريب القائمين على هذه الأجهزة(المساحون العاملون عليـــها) وإن لايكتفى بعرض وشرح الجهاز لبضع ساعات عند تسليم الجهاز للمشتري.

9 - يعتمد عدد العدسات العاكسة على مدى للمسافة المراد قياسها وعلى شروط الرؤية أثناء عملية القياس . كلما زادت المسافة أو/و ساءت شروط الرؤية كلما احتجنـــا لعدد أكبر والعكس صحيح . عند تحقق شروط الرؤية الجيدة، يمكن القـــول بـــأن مدى القياس للأجهزة الكهروبصرية تتضاعف بتربيع عدد العدسات العاكسة. على

سبيل المثال ، إذا كان بالإمكان قياس مسافة بطـــول (1.5 km) بواســطة جــهاز كهروبصري معين مع توفر ثلاث عدسات عاكسة فإن بالإمكان زيادة المــدى إلى حوالي (3km) بزيادة عدد العدسات العاكسة إلى تسع بدلاً من ثلاث، وهذا بالطبع صحيح ضمن حدود معينة وفي ظروف معينة أيضاً .

10 – إن كلمة ليزر (Laser) مشتقة من الحروف الأولى للكلمات التالية :

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" يقوم جهاز اللــيزر بتوليــد موجات ضوئية خفيفة الكثافة (Low- Intensity Light Waves) ومن ثم تضخيمــــها إلى حزمة ضوئية عالية الكثافة لا تنتشر عند إطلاقها باتجاه الهدف إلا بزاوية ضيقة جداً حتى ولو كان هذا الهدف على مسافة بعيدة . تقع أشعة الليزر هذه ضمن المجـــال الطيفي 0.4 - 1.2 µm . عند التعامل مع أشعة الليزر لابد مــن اتخــاذ الاحتياطــات اللازمة بشأن وقاية العيون.

11 – تقع أطوال الموجات المايكروية (Microwaves) المستخدمة في أجهزة قياس المســافات الإلكترونية ضمن المجال الطيفي (10 - 100µm) .

12 – معظم الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في وقتنا الحاضر في قياس المسافات لمـــدى لا يتجاوز الخمسة كيلومترات هي من النوع الذي يستخدم الموجات تحت الحمراء (0.7 - 1.2µm).فيما يتعلق بالمسافات الأطول هناك أكثر من نوع شائع الاســتعمال ومن بينها ما يستخدم أيضاً الموجات تحت الحمراء لقياس مسافات يتجاوز مداهـــا الخمسة عشر كيلو متراً .

13 – هناك أجهزة ترسل أمواج ليزر وتعتبر فعالة في قياس المسافات ضمن المدى القصير

والمتوسط خصوصاً في ظروف الرؤية السيئة نظراً لأن الأشعة الليزرية مرئية (بعكس الأشعة تحت الحمراء غير المرئية والشائعة الاستعمال في قياسات مسافات المدى القصير). باستخدام أجهزة الليزر يمكن استخراج المسافة بين الجهاز ونقاط أخرى صعبة (أبراج، نقاط ضمن قيعان عميقة، رأس أنتين .. الخ) من خلال توجيه منظار الجهاز باتجاه النقطة الصعبة (الهدف) ووضع نقطة أو إشارة ضوء تحت حمراء (Timed - Pulse Infrared Signal) على هذا الهدف (بواسطة الليزر) ومن ثم ضغط زر خاص لمعرفة مقدار المسافة المطلوبة. يجدر بالذكر هنا أنه لا يلزم بالضرورة استخدام عاكس لغايات قياس المسافات باستخدام النبضات الضوئية تحت الحمراء (النقاط الضوئية المرسلة من جهاز ليزر خاص لهدف معين) وإنما يكتفى بمعرفة الفترة الزمنية التي استغرقتها الإشارة ذهاباً وإياباً باتجاه الهدف . بقي أن نقول أن مدى المسافات الممكن قياسها بواسطة هذه الأجهزة يتراوح بين 150m إلى 300m (حسب شروط الرؤية المتوفرة) تقريباً بدون استخدام عدسات عاكسة (أو أية أجهزة عند الهدف) ويصل إلى بضعة كيلومترات وربما ما يزيد على عشرة كيلومترات مع استخدام العدسات العاكسة . يجدر بالذكر هنا ضرورة مراعاة عدم وجود أجسام (سيارة ، غصن شجرة ..الخ) في طريق النقطة سوف تنعكس من مثل هذه الأجسام وليس من الهدف ذاته المراد قياس بعده عن موقع الجهاز الإلكتروني وبالتالي تكون المسافة الناتجة هي ما بين الجهاز وأول جسم تصطدم به هذه النقطة في طريقها إلى الهدف . للتغلب على هذه المشكلة يلجأ عادة إلى إرسال حزمة ليزرية مرئية من الجهاز إلى الهدف المطلوب للتأكد من التحديد الدقيق له وعدم وجود عوائق في طريق الإشارة الكهرومغناطيسية التي سيرسلها الجهاز الالكتروني إلى الهدف لغايات قياس بعده . تعتمد دقة القياس في غياب العدسات العاكسة على لون وطبيعة وميل سطح الهدف وكلما كان الهدف بلون فاتح وفي وضع متعامد مع حزمة الأشعة الكهرومغناطيسية المستخدمة لأغراض القياس كلما كانت الدقة أعلى وقد تصل إلى المجال (5 mm + 5 ppm)± وأما في حالات الأهداف

للظلمة (أو الداكنة) و/أو المائلة (أو على شكل حافة) فإن مدى القياس سوف يقل كما أن الدقة سوف تنخفض بشكل معتبر .

14 - في جميع الحالات يجب تجنب وجود مرايا ومعادن لامعة أو عاكسة بجوار العدسات العاكسة (Reflecting Prisms) ولا يجري أخذ القياسات في مثل هذه الحالات .

15 - لابد من معايرة الأجهزة كل بضعة شهور بالاستعانة بخطوط أساسية مناسبة.

16 - يجري تدوين المعلومات المستخرجة إمّا على دفتر الحقل (Field Book) أو تسجيلها ضمن جهاز الكتروني خاص بجمع المعلومات ملحق بالجهاز (Data Collector).

17 - في أي من الحالتين التاليتين يتوجب إدخال التصحيحات الخاصة بالعوامل الجوية وبانحناء الأرض :

- إذا كان فرق المنسوب بين طرفي المسافة يتجاوز المائتي متر (تقريباً) .
- إذا كانت الدقة المطلوبة أفضل من (1/50000) .

18 - لكل نوع من أجهزة المساحة الإلكترونية برنامجاً وأسلوباً خاصاً به فيما يتعلق بشؤون المصنعية والطاقة والتشغيل والمعايرة والتعديل والصيانة.

19 - لجميع أجهزة قياس المسافات الإلكترونية المخصصة لقياس المسافات فقط، أدوات ربط (وصلات أو تكييف أو مطابقة) (Adapters) بأجهزة ثيودوليت معينة بحيث يمكن استخدامها بشكل مستقل (لأغراض قياس المسافات والزوايا معاً. تختلف أدوات الربط هذه عن بعضها وفقاً لنوع جهاز قياس المسافات (الدستومات Distomat or Electronic Distance Meter) ونوع جهاز الثيودوليت المراد الربط أو الوصل به. وبشكل عام تتألف أدوات الربط أساساً من جزئين رئيسيين أحدهما مثبت بأسفل جهاز الدستومات والآخر مثبت على سطح منظار الثيودوليت.

20 - يمكن العمل بجهاز الدستومات لمدة تتراوح بين 4 إلى 6 ساعات بشكل متواصل إذا كان يعمل من خلال بطارية خارجية كما يمكن العمل لمدة حوالي ساعة ونصف من خلال البطاريات الداخلية . أمّا شحن هذه البطاريات الخارجية والداخلية فيحتاج لمدة تتراوح بين 12 إلى 15 ساعة. يراعى أن لا يشغل الجهاز بين القراءة والأخرى توفيراً لطاقة البطاريات وبالتالي إجراء القياسات لمدة أطول. وفي

حالات الضرورة (الحاجة لمواصلة العمل مع وجود ضعف في البطاريات) يجــــري وصل جهاز القياس الإلكتروني (الدستومات) ببطارية السيارة من خـــلال ســـلك خاص.

21 - تغير سرعة انتشار الموجة الضوئية (أي للموجة الكهرومغناطيسية) بتغـــير درجـــة الحرارة (Temperature) والضغط (Pressure) والضغط الجزئي لبخار الماء (Partial Pressure of Water Vapor) ويمكن حسابها بدقة بمعرفة هذه القيم بالإضافة إلى طـــول الموجـــة المستخدمة (λ) وسرعة الضوء في الفراغ (Velocity of Light in the Vacuum) البالغـــة 299792.5 km/.sec .

إن العلاقة الرياضية التي تعطي سرعة الضوء في الهواء بدلالة سرعته في الفراغ هي :

$$V_a = \frac{c}{n_a} \qquad (2-5)$$

V_a : is the velocity of the light wave in air . سرعة الضوء في الهواء
c : is the velocity of light in a vacuum = 299792.5 km/sec. سرعة الضوء في الفراغ
n_a : is the refractive index of the air under the given atmospheric conditions.
معامل انكسار الهواء تحت شروط القياس الفعلية

إن العلاقة الرياضية التي تعطي معامل الانكسار n_a للموجات الضوئية (Light Waves) تحت شروط القياس الجوية هي :

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)P}{273.2 + t} - \frac{1.5026(e)10^{-5}}{273.2 + t} \qquad (3-5)$$

حيث :

P = atmospheric pressure, in millimetres of mercury (torr).
(الضغط الجوي مقدراً بـــ مم زئبق)

t = air temperature , in degrees celsius
(درجة حرارة الهواء مقدرة بـــ الدرجات المئوية)

e = the vapor pressure, in torr
(ضغط بخار الماء مقدراً بـــ مم زئبق)

n_g = the refractive index of standard air for light waves
(معامل الانكسار للموجات الضوئية تحت الشروط الجوية النظامية)

إن العلاقة الرياضية التي تعطي قيمة معامل الانكسار n_g هي :

$$n_g = 1 + (287.604 + \frac{4.8864}{\lambda_c^2} + \frac{0.068}{\lambda_c^4}) \times 10^{-6} \ldots\ldots\ldots (4-5)$$

حيث :

λ_c = the wave length of the light carrier in micrometers.

طول الموجة مقدرة بالميكروميتر (μm)

22 – عند قياس المسافات باستخدام أجهزة إلكترونية تعمل على للموجـــات الدقيقـــة (Microwave EDM's) ، لابد من أخذ تأثير الرطوبة النسبية بعين الاعتبار أي قياس ضغط بخار الماء قياساً دقيقاً وتطبيق للمعادلة التالية لحساب معامل الانكسار (n_r) للموجات الدقيقة (Refractive Index of Microwaves) :

$$(n_r - 1)10^6 = \frac{103.49}{273.2 + t}(P - e) + \frac{86.26}{273.2 + t}(1 + \frac{5748}{273.2 + t})e \ldots\ldots (5-5)$$

حيث : P, t, and e هي نفس الوحدات والرموز المستخدمة في للمعادلة (5 - 3) .

أمّا سرعة انتشار للموجات الدقيقة (Velocity of Propagation of Microwaves) فتعطى بالعلاقة التالية :

$$V_r = \frac{c}{n_r} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6-5)$$

5 - 10 الميزات الفنيّة لأجهزة المساحة الالكترونية :

نبين فيما يلي ، وعلى سبيل المثال فقط ، الميزات الفنيّة لبعض أجـــهزة القيـــاس الكهروبصرية (الجدول رقم 5 - 1) ولبعض أجهزة المحطة الشاملة (الجدول رقـــم (5 - 2) .

مثال 5 - 1 :

قيست المسافات والزوايا الأفقية المبنية في الشكل (5-17) وكانت كما هو مبين على الشكل نفسه وذلك بطريقة الإشعاع وباستخدام جهاز محطة شاملـــة (أو محطـــة متكاملة)، المطلوب :

1 – حساب إحداثيات النقاط (A) ,(B) ,(C) .

2 – حساب الزوايا الأفقية والأطوال المجهولة من للضلع (I , A , B, C) .

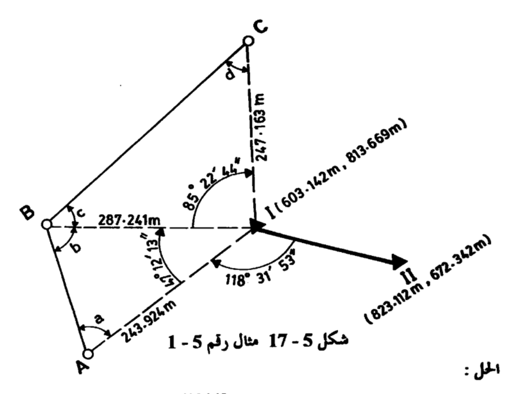
جدول رقم 5 - 1 الميزات الفنية لبعض أجهزة القياس الكهروبصرية

(Characteristics of Some Electro-Optical EDM Instruments)

الطراز واسم الشركة الصانعة Model (Manufacturer)	المدى Range	دقة القياس في مجال درجات الحرارة المثلى Accuracy Within Optimum Temperature Range	مجال درجات الحرارة المثلى أثناء تشغيل الجهاز Optimum Operating Temperature Range	الوزن Weight	أبعاد الأجهزة Dimensions
Geodimeter 112 (AGA Geodimeter, Inc)	5.5 km	± (5 mm + 5 ppm)	- 20°C to + 50°C	2.6 kg	220 ×120 × 90mm
HP3805 A Distance Meter (Hewlett-Packard, Inc)	1.6 km	±(7 mm + 7 mm/km)	- 10°C to + 40°C	7.7 kg	232 ×318 × 275mm
Range master III (Keuffel & Esser Co.)	60 km	± (5 mm + 1 ppm)	- 6 °C to + 43°C	25 kg	317 ×228 × 434mm
ME3000 Mekometer (Kern Instruments, Inc)	2.5 km	± (0.2 mm+ 1 ppm)	- 9 °C to + 40°C	14.5 kg	460 ×160 × 220 mm
Wild D14 Distomat (Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)	2.5 km	± (5 mm+ 5 mm/km)	- 25 °C to + 50°C	1.9 kg	190 ×60 × 60 mm
Zeiss Eldi 2 (Carl Zeiss, Inc.)	5 km	± (10 mm+ 2 ppm)	- 20 °C to + 60°C	4.2 kg	135 ×120 × 155 mm

جدول 5 - 2 المميزات الفنية لبعض أجهزة القياس الشاملة (Total Stations) [م33]

الطراز واسم الشركة الصانعة للجهاز Model (Manufacturer)	المدى الأقصى للجهاز Max. Range	دقة القياس في مجال درجات الحرارة المثلى Range Accuracy Within Optimum Temperature Range (RMS error)	مجال درجات الحرارة المثلى أثناء تشغيل الجهاز Optimum Opetating Temperature Range	مقدار العد الأصغري (القـــراءة الصغرى المباشرة عن الجهاز) Least Count in		توفر جامع للمعلومات Data Collector Available
				Horizontal Angle	Vertical Angle	
Geodimeter 140 (AGA (Manufacturer)	5.5 km	± (5mm + 5ppm)	- 20°C to + 50°C	2"	2"	Yes
HP 3820 A (Hewlett Packard Inc.)	5 km	± (5mm + 5ppm)	- 10°C to + 40°C	1"	1"	Yes
Kern Electronic Theodolite with DM 502 Distance Meter (kern Instruments, Inc.)	6.5 km	± (3mm + 5ppm)	- 20°C to + 50°C	1"	1"	Yes
Sokkisha SDM3ER (Distirbuted in the U.S. by The Lietz Co.)	2.5 km	± (5mm + 5ppm)	- 20°C to + 50°C	10"	10"	Yes
Wild TC1 Total Station (Wild Heerbrugg Instrument, Inc.)	2.0 km	± (5mm + 5ppm)	- 20°C to + 50°C	2"	3"	Yes
Zeiss Elta 2 (Carl Zeiss Inc.)	5 km	± (5mm + 2ppm)	- 20°C to + 60°C	0.6"	0.6"	Yes
Leica TC 1800 L	5 km	± (5mm + 5ppm)	-20°C to + 50 °C	1"	1"	Yes (Card)
Sokkia Set 2C	40 km	± (5 mm + 5 ppm)	(- 20°C to + 50°C)	2"	2"	Yes
Sokkia Set 3C	〃	± (3 mm + 3 ppm)	〃	3"	3"	Yes
Sokkia Set 4C	〃	± (5 mm + 3 ppm)	〃	5"	5"	Yes
Leica TCA 1800 L	5 km.	± (5 mm + 5 ppm)	〃	1"	1"	Yes



شكل 5 - 17 مثال رقم 5 - 1

الحل :

$$\alpha_{I,II} = \tan^{-1}\left(\frac{823.112 - 603.142}{672.342 - 813.669}\right) = 122° \quad 43' \quad 12''$$

$$\alpha_{I,A} = 122° \quad 43' \quad 12'' + 118° \quad 31' \quad 53'' = 241° \quad 15' \quad 05''$$

$$\alpha_{I,B} = 241° \quad 15' \quad 05'' + 47° \quad 12' \quad 13'' = 288° \quad 27' \quad 18''$$

$$\alpha_{I,C} = 288° \quad 27' \quad 18'' + 85° \quad 22' \quad 44'' = 13° \quad 50 \quad 02''$$

$$X_A = 603.142 + 243.924 \sin \quad (241° \quad 15' \quad 05'') = 389.284\text{m}$$

$$Y_A = 813.669 + 243.924 \cos \quad (241° \quad 15' \quad 05'') = 696.349\text{m}$$

$$X_B = 603.142 + 287.241 \sin \quad (288° \quad 27' \quad 18'') = 330.673\text{m}$$

$$Y_B = 813.669 + 287.241 \cos \quad (288° \quad 27' \quad 18'') = 904.598\text{m}$$

$$X_C = 603.142 + 247.163 \sin \quad (13° \quad 50' \quad 02'') = 662.241\text{m}$$

$$Y_C = 813.669 + 247.163 \cos \quad (13° \quad 50' \quad 02'') = 1053.663\text{m}$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1}\left(\frac{330.673 - 389.284}{904.598 - 696.349}\right) = 344° \quad 16' \quad 51''$$

$$\alpha_{BC} = \tan^{-1}\left(\frac{662.241 - 330.673}{1053.663 - 904.584}\right) = 65° \quad 47' \quad 26''$$

$$\hat{a} = \alpha_{AI} - \alpha_{AB} = (241° \quad 15' \quad 05'' - 180°) - 344° \quad 16' \quad 51'' = 76° \, 58' \, 14''$$

$$\hat{b} = \alpha_{BA} - \alpha_{BI} = (344° \quad 16' \quad 51'' - 180°) - (288° \quad 27' \, 18'' - 180)$$

$$= 55° \, 49' \, 33''$$

$$\hat{c} = \alpha_{BI} - \alpha_{BC} = (288° \quad 27' \quad 18'' - 180°) - 65° \quad 47' \, 26'' = 42° \, 39' \, 52''$$

$$\hat{d} = \alpha_{CB} - \alpha_{CI} = (65° \quad 47' \quad 62'' + 180°) - (13° \quad 50' \, 02'' + 180)$$

$$= 51° \, 57' \, 24''$$

وللتحقق الحسابي دعنا نجمع كافة الزوايا الداخلية للمضلع المعتبر (ABCI) :

$$(55° \quad 49' \quad 33'') + (42° \quad 39' \quad 52'') + (51° \, 57' \quad 24'') + (85° \, 22' \, 44'')$$

$$+ (47° \, 12' \quad 13'') + (76° \, 58' \, 14'') = 360° \, 00' \, 00''$$

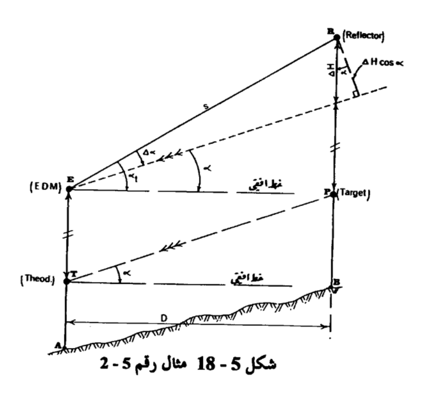
مثال 5 - 2 :

قيست المسافة المائلة (S) بين نقطتين (A) ,(B) ، شكل (5-18) فوجدت مساوية: S = 218.624 m ، ارتفاع مركز القائس الالكتروني (EDM) فوق النقطة (A) يساوي (h_a = 1.60m) وارتفاع مركز العاكس فوق النقطة (B) يساوي (h_r = 1.65m) ، الزاوية الرأسية المقيسة باتجاه هدف واقع رأسياً فوق النقطة (B) بمقدار (1.45m) تساوي (″4 ′6 °8) من ثيودوليت مركزه يقع رأسياً فوق النقطة (A) بمقدار (1.50 m) . المطلوب حساب مقدار المسافة الأفقية (D) بين النقطتين (A),(B) .

ملحوظة :

1 - افترض عند الحل أن المسافة المائلة المقيسة (S) قد تم تصحيحها من أخطاء الجهاز (Instrumental Errors) والعوامل الجويّة (Meteorological Conditions) .

2 - الشروط الواردة في هذه المسألة يمكن مواجهتها عند عدم تطابق مركز جهاز الـ EDM مع مركز جهاز قياس الزوايا (الثيودوليت) وكذلك عند عدم إمكانية رصد مركز العاكس (Reflector) لوجود عائق رؤية مما يحتم رصد نقطة أخرى أسفل أو على مركز العاكس بمسافة رأسية محددة .



شكل 5 - 18 مثال رقم 5 - 2

الحل :

بملاحظة الشكل (5 - 18) أعلاه ، لدينا :

$$\Delta H = (BR - BP) - (AE - AT)$$

$$\Delta H = (1.65 - 1.45) - (1.60 - 1.50) = 0.1m$$

$$\sin \Delta\alpha = (\Delta H)(\cos\alpha) / S$$

$$\sin \Delta\alpha = (0.1)\ (\cos 8^\circ\ 6'\ 4'') / (218.624)$$

$$\Delta\alpha = 1'\ 33''$$

وعليه فإن زاوية ميل الخط المقيس (ER) عن الوضع الأفقي تساوي :

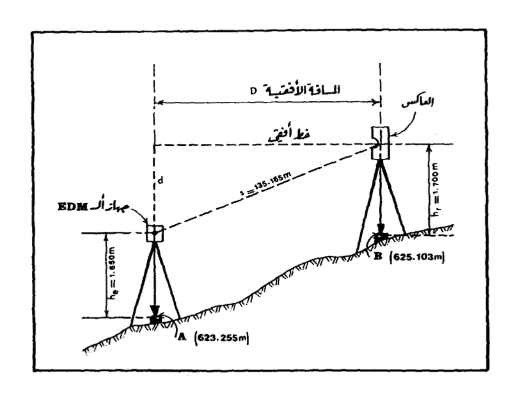
$$\alpha_t = \alpha + \Delta\alpha = \quad 8^\circ\ 6'\ 4'' + 1'\ 33'' = 8^\circ\ 7'\ 37''$$

المسافة الأفقية (D) بين النقطتين (A) و (B) تساوي :

$$D = S\cos(\alpha_t) = 218.624 \quad \cos(8^\circ\ 7'\ 37'') = 216.428m$$

مثال 5 - 3 :

قيست للمسافة المائلة (S) بين مركز قائس إلكـــتروني (EDM) ومركـــز عـــاكس (Reflector) فوجدت مساوية ($S = 352.623m$) ، شكل (5 - 19)، ارتفاع مركز الـــEDM فوق النقطة (A) يساوي ($h_e = 1.60$ m) وارتفاع مركز العاكس فوق النقطـــة (B) يســـاوي (h_r=1.70m) ، قيست الزاوية الرأسية (α_t) بين النقطتين (A)، (B) برصد علامة ارتفاعها فوق (B) يساوي نفس ارتفاع مركز الـــEDM فوق (A) وذلك بواسطة جهاز ثيودوليت مركزه الـــ EDM فوق (A) وذلك بواسطة جهاز ثيودوليت مركزه ينطبق على مركـــز الـــEDM ووجدت مساوية : $\alpha_t = 21° 12' 22''$. المطلوب حساب المسافة الأفقية بين (A) و (B) بافتراض أن المسافة المائلة المقيسة (S) مصححة من تأثيرات العوامل الجوية .



شكل 5 -19 مثال رقم 5 - 3

الحل :

$$\text{Sin}(\Delta\alpha) = (h_r - h_e)(\text{Cos}\alpha_t) / S$$
$$\text{Sin}(\Delta\alpha) = (0.1)(\text{Cos}\,21^\circ\ 12'\ 22'') / 352.623$$
$$\Delta\alpha = 55''$$
$$\alpha = \alpha_t - \Delta\alpha = 21^\circ\ 12'\ 22'' - 55'' = 21^\circ\ 11'\ 27''$$
$$D = S.\text{Cos}\,\alpha = 352.623\ \text{Cos}(21^\circ\ 11'\ 27'') = 328.779\text{m}$$

مثال 5 - 4 :

كيف يمكن توقيع أركان مشروع بناء معين بجوار النقطة (P)، شكل (5 - 8) إذا توفرت إحداثيات هذه الأركان بنفس المرجعية الإحداثية للنقاط (A)، (B)، (C) .

الحل :

يجري ذلك بتحريك العاكس ضمن موقع للمشروع ورصده لغايات قراءة الإحداثيات الواردة في جدول إحداثيات الأركان بعد أن يتم :

1 - تثبيت جهاز المحطة الشاملة في النقطة (P) وإتمام عملية التسامت وضبط الأفقية.

2 - تغذية الجهاز بإحداثيات نقطة الرصد (P) .

3 - التوجيه نحو إحدى النقاط المعلومة الأخرى (A أو B أو C) .

4 - تصغير دائرة الزوايا الأفقية .

5 - تغذية الجهاز بسمت (أزموث) الخط المرجعي الذي تم توجيه المنظار وفقه كما جاء في البند (3)، أي PA أو PB أو PC .

مســـــائل

5 - 1 في قياس للمسافة بين نقطتين (A) ,(B) بواسطة جهاز (EDM) تبين أن هناك خطــأ مقداره (1/10000) ثانية في قياس الفترة الزمنية التي تستغرقه الحزمة الكهرومغناطيسية في الذهاب والإياب بين هاتين النقطتين (من الجهاز إلى العاكس ثم وأخـــيراً مـــن العاكس إلى الجهاز)، المطلوب حساب مقدار الخطأ لأقرب 1مم في قيـــاس هـــذه المسافة علماً بأن سرعة الحزمة الكهرومغناطيسية كانت (300 000 km/sec) ، هل يمكن قبول مثل هذا الخطأ ؟ ما هو السرّ أو السبب في هذا الخطأ أو بـــالأحرى الغلـــط الكبير؟ كيف يجري في واقع الأمر قياس الفترة الزمنية ؟

5 - 2 قيست مسافتان (AB) ,(AC) تقعان على خط مستقيم واحد بواســـطة شريـــط الأنفار فوجدتا مساويتين بعد تصحيح الميل :

$AB = 854.683$ m , $AC = 113.453$ m

ثم قيست نفس هاتين المسافتين بواسطة جهاز كهروبصري يراد معايرته فوجدتـــا مساويتين ، بعد تصحيح الميل ، ما يلي :

$\overline{AB} = 113.452$ m $\overline{AC} = 854.632$ m ,

الآن إذا استخدم نفس الجهاز الالكتروني المعاير لقياس مسافة جديدة (بعد إجـــراء المعايرة) ووجدت مساوية (1127.235m) فما هو المقدار الصحيح لهذه المسافة؟ معتبراً أن الخطأ ناشيء عن : أ – عامل للقياس (أي $\frac{f'}{f}$)،ب– عدم التطابق المركـــزي (Zero Centering) فقط .

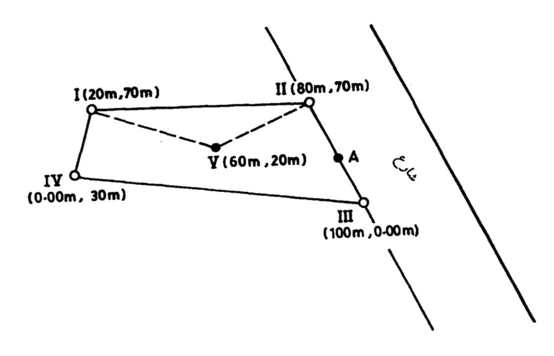
5 - 3 قطعة ارض (I, II, III, IV) إحداثياتها كما هو مبين على الشكل، يراد تقســـيمها بين شريكين بنسبة 2:3 شريطة :

– أن يكون الخط (I-V) مشتركاً بينهما .

– أن يكون لكل منهما منفذاً أو واجهة على الشارع .

ملحوظة :

يُطلب عمل التحقيق الحسابي اللازم ووصف الخطـــوات الميدانيـــة باســـتخدام الـــ(EDM) .



4 - 5 كيف يمكن تحقيق القسمة ميدانياً في المسألة السابقة باستخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station)؟

- 6 -

الفصل السادس

مقدمة في شبكات الضبط الأفقية والرأسية

INTRODUCTION TO HORIZONTAI AND VERTICAL CONTROL NETWORKS

6 - شبكات الضبط CONTROL NETWORKS :

6-1 مقدمة في شبكات الضبط الأفقية الجيوديزية :

Introduction to Geodetic Horizontal Control Networks

6-1-1 تمهيد :

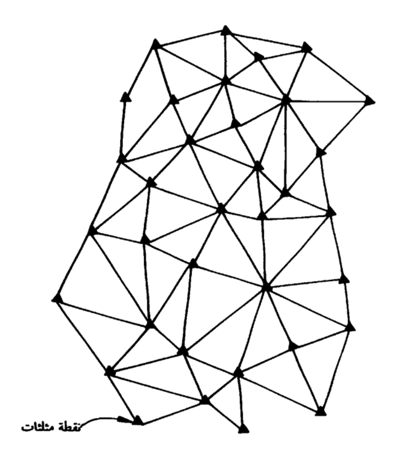
نبين فيما يلي بعض المفاهيم الأساسية في موضوع إنشاء شبكات الضبط الأفقية الجيوديزية. من الطبيعي أن يعود القارئ إلى المزيد من المراجع المتخصصة إذا احتاج إلى المزيد من الشرح والتفصيل.إن ما سيرد ذكره في الفقرات التالية عبارة عن محطات رئيسية تذكّر القارئ بما يجب أن يعود إليه ويتوقف عنده سعياً للفهم الكامل والتمكن من التطبيق.

6-1-2 الهدف من إنشاء شبكة الضبط الأفقية الجيوديزية :

إن انشاء شبكة من نقاط تغطي كامل مساحة البلد ثم تعيين احداثياتها الأفقية الدقيقة استناداً إلى سطح مرجعي ثابت ، سوف يمكّن من ربط كافة الأعمال والنشاطات المساحية (كإنتاج الخرائط وتوقيع المنشآت المختلفة وحساب المساحات والحجوم.. إلخ). بنظام إحداثيات عام (مشترك).

6-1-3 طرق القياسات المستخدمة في إنشاء الشبكة الأفقية :

تعتبر طريقة التثليث (Triangulation) من الطرق الشائعة سابقاً، والممكنة حالياً، في إنشاء شبكات الضبط الأفقية . تتلخص هذه الطريقة في اختيار نقاط تشكل فيما بينها مثلثات بأبعاد متفاوتة وفقاً للدرجة المطلوبة، أولى (قد تصل إلى الخمسين كيلومتراً)، ثانية، ثالثة ، رابعة ... الخ، شكل (6 - 1) . تقاس بعد ذلك مسافة واحدة (على الأقل) قياساً دقيقاً جداً بالإضافة إلى قياس جميع الزوايا الأفقية لهذه المثلثات بدقة عالية (تيودوليت درجة أولى (First Order Theodolite) . يطلق على المسافة الأفقية المقيسة بـ "الخط الأساسي Base Line للشبكة . بالنسبة للزوايا الأفقية ، فيجري قياسها بأخذ اتجاه الشاقول المحلي (Local Vertical) بعين الاعتبار وهذا بالطبع لا يتطابق مع اتجاه الخط المتعامد مع سطح الاهليلج المرجعي (أي السطح الذي تستند إليه كافة الحسابات) .



شكل 6-1 شبكة مثلثات من مختلف الدرجات

تتضمن الشبكة بعض النقاط التي يعرف في كل منها مقدار الانحراف بين خط الشاقول المحلي والخط المتعامد مع الاهليلج (δ) ، يطلق على مثل هذه النقاط "Laplace Points or Stations" . أما النقاط الأخرى من الشبكة فتعرف مقادير انحراف الشاقول عندها بالتوسط (By Interpolation) استناداً إلى نقاط لابلاس (معلومة الانحراف). بمعرفة زاوية الانحراف (δ) عند كل نقطة ، يمكن تصحيح الزوايا الأفقية المقيسة لغايات تمثيلها على الأهليلج المرجعي. يأتي الآن دور حساب الاحداثيات (X, Y) لكافة نقاط الشبكة باستخدام نظرية التربيعات الصغرى (Least Squares Adjustment) . ومن حيث الدقة فإنه على سبيل المثال، يمكن تحقيق دقة بحدود عشرة سنتميترات في حالة نقاط الدرجة الأولى (First Order Geodetic Control Points) .

حديثاً ومع توفر الأقمار الصناعية ومحطات الاستقبال الالكترونية الأرضية أصبح بالإمكان حساب إحداثيات نقاط شبكات الضبط الجيوديزية بدقة وسرعة .

ومن الطبيعي أن يجري تكثيف نقاط شبكة الضبط الأفقية لزيادة وتسهيل الأعمال والنشاطات المساحية الكثيرة الأخرى . تختلف هذه النقاط الجديدة في دقتها وتصنف إلى الدرجة الثانية والثالثة والرابعة بحيث تنخفض الدقة أكثر كلما كبر رقم الدرجة . يعود سبب الانخفاض في الدقة إلى الانخفاض النسبي في دقة البرامج والأجهزة المستخدمة في القياسات لهذه الدرجات المتسلسلة . وكما أن التباعد بين نقاط الدرجة الأولى يمكن أن يصل إلى (50 km) وأكثر من ذلك في بعض الدول ، فإن التباعد بين نقاط الدرجة الأخفض (الرابعة) قد يصل إلى حدود (2 km) ، [م13] [م14] [م24] [م33] [م44] [م45]

ملاحظات :

1 - لابد أن تخضع شبكات الضبط هذه بمختلف درجاتها إلى مراقبة ومتابعة وصيانة وكالة أو شركة مساحية وطنية متخصصة (National Survey Agency) .

2 - كل عمل مساحي يراد منه حساب الاحداثيات وفق النظام المرجعي العام للدولة، لابد وأن يكون مرتبطاً بنقاط الشبكة المثلثية .

3 – من النقاط أو العلامات الطبيعية التي تختار عادة كنقـــاط مثلثـــات (Triangulation Points)، أي أركان أو رؤوس للمثلثات المشكّلة للشبكة ، نذكر :

* النقاط الشاهقة والثابتة من المساجد والكنائس والأبراج بالنظر لإمكانية رؤيـــة هذه النقاط من مسافات بعيدة .

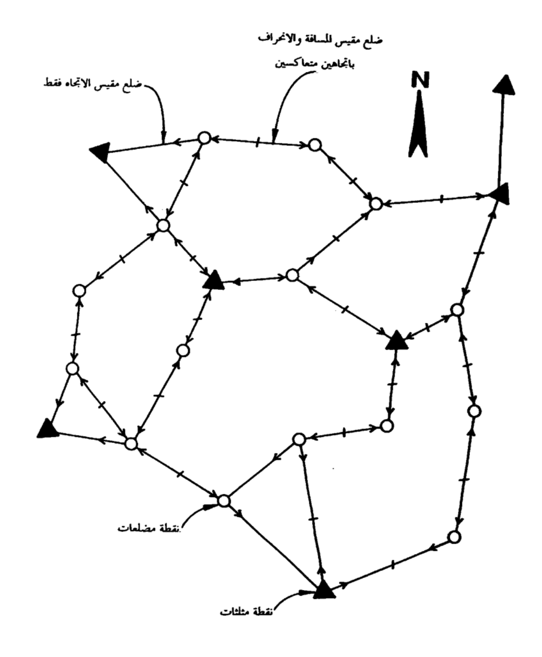
* علامات أو إشارات معدنية وغير معدنية تغرس في الأرض على رؤوس التـــلال والجبال .

4 – هناك الكثير من الأعمال المساحية التي تنحصر في مساحات محدودة حيث يكـــون مقياس رسم المخططات المساحية المطلوبة كبيراً. في مثل هذه الحـــالات وحيثمـــا تكون هذه الأجزاء أو المساحات المشمولة بالمسح بعيدة عن نقاط شبكة المثلثـــات (بما في ذلك نقاط الدرجة الأخفض أو الأكثر قرباً من بعضها ، الدرجة الرابعة على سبيل المثال) يجري تكثيف نقاط الدرجة الأخفض كي يمكن ربط هذه الأعمـــال المساحية محدودة الاتساع بالشبكة العامة .

5 – من الشائع عملياً ، خصوصاً مع تزايد الإقبال على اســـتخدام أجـــهزة المســـاحة الالكترونية (أجهزة الدستومات EDM والمحطة الشاملة Total Station) ، اســـتخدام أسلوب أو طريقة التضليع (Traversing) في أعمال تكثيف نقاط الدرجة الرابعـــة، شكل (6 - 2) . في طريقة التضليع هذه ، يصار إلى قياس مسافات وزوايا من موقع المسح الطبوغرافي (أو غيره من الأعمال المساحية) ولغاية النقاط الأقرب من نقاط الشبكة العامة (أي يجري غلق كل مضلع من المضلعات المنشأة ضمن منطقة المسح على نقطة واحدة على الأقل من نقاط الشبكة العامة). بهذا تكون الاحداثيـــات المحسوبـــة لمختلف النقاط في الجزء المشمول بعملية المسح تابعـــة لنفـــس نظـــام إحداثيات الشبكة العامة (National Control Network) .

6 - 2 – مقدمة في شبكات الضبط الرأسية Introduction to Vertical Control Networks:

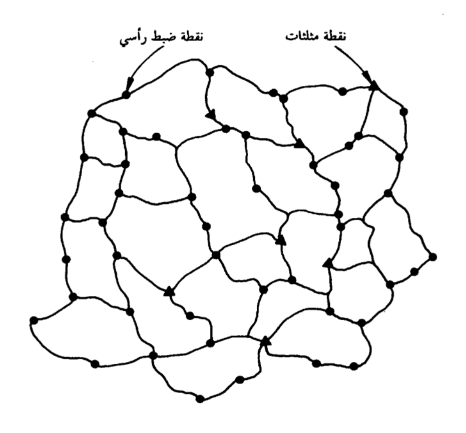
لأسباب ومبررات شبيهة بتلك المذكورة في بند شبكات الضبط الأفقية ، هنا أيضاً لابد من وجود أو إنشاء مرجع وطني عام وثابت لقياسات المناسيب (National Reference



شكل 6 - 2 – شبكة مضلعات تستند إلى نقاط مسح مثلثي من مختلف الدرجات (أولى، ثانية ، ثالثة ، رابعة) ، تكون بالطبع معلومة الإحداثيات

تتألف هذه الشبكة من نقاط معلومة الارتفاع فوق المنسوب الوســـطي (Height Datum) للبحر (Mean Sea Level , MSL) . يمثل المنسوب الوسطي للبحر (MSL) شكل أو سطح الجيوئيد بشكل تقريبي ويمكن تعيينه بأخذ متوسط عدد كبير من قياسات المناسيب لسطح البحر الأقرب (إن وجد) . من هنا لابد من إنشاء نقطة إنطلاق في كل بلد من البلدان بحيث يكون فرق الارتفاع بينها وبين المنسوب الوسطي لسطح البحر معلـــوم وبشكـــل دقيق. تسمّى نقطة الانطلاق المرجعية هذه " علامـــــة المنســـوب المرجعيـــة " (Height Reference Point or Height Datum or Bench Mark). الآن وانطلاقاً من واستناداً إلى هذه النقطة المرجعية يصار إلى إنشاء شبكة نقاط مناسيب رئيسية تغطي البلد بكاملـــه . يتـــم أخذ القياسات وإجراء الحسابات اللازمة لتعيين مناسيب نقاط الشبكة (بالطبع في النظام المرجعي الوطني National Reference System الذي أساسه النقطة المرجعية Bench Mark) بشكل دقيق جداً (First Order Levelling) .

من الطبيعي أن يصار إلى تكثيف شبكة المناسيب الرئيسية لتشمل آلاف النقـــاط الموزعة على كامل أرجاء البلد وذلك لغايات تسهيل ربط أكبر قدر ممكن من مناســـيب النقاط الداخلة في الأعمـــال المساحية المختلفة بالشبكة الرئيســـية (Primary Network). بهذا يمكن تحقيق مرجعية وحيدة للمناسيب لمختلف النشاطات الداخلة في إطار العمـــــل المساحي لأي جزء من أجزاء البلد الواحد . يطلق على مجموعة النقاط الجديـــــدة هـــذه المستندة إلى نقاط الشبكة الرئيسة بـــ شبكة نقـــاط الدرجـــة الثانيـــة (Second Order Network) وتكون دقتها عادة عالية ولكنها أقل من الدقة المتحققة لنقاط الشبكة الرئيسة (شبكة الدرجة الأولى) والتي لا تتجاوز في الغالب السنتميتر الواحد ، شكل (6 - 3) .



شكل 6 - 3 شبكة نقاط ضبط رأسي من مختلف الدرجات

ملاحظات :

1 - هناك بعض الدول لا تقع على البحر (زامبيا على سبيل المثال) ومع ذلك يكون لها مرجع عام وثابت للمناسيب . هذا المرجع عبارة عن نقطة يجري انشاؤها على أحد حدود البلد (Country Border) الأقرب للبحر ثم يصار إلى تعيين فرق الارتفاع بينها وبين المنسوب الوسطى لسطح هذا البحر الأقرب .

2 - من الطبيعي أن يكون لكل بلد نقطة منسوب مرجعية (Bench Mark or Height Datum) خاصة به وهي بالضرورة تختلف عن غيرها لباقي الدول . كذلك فإن المنسوب الوسطي للبحر المعين كأساس لتحديد فرق الارتفاع بينه وبين نقطة المنسوب المرجعية يختلف أيضاً من بلد لآخر . بسبب ذلك نجد تفاوتاً في مناسيب نفس النقاط الواقعة على الحدود (Border Lines) عند شق أنفاق (Tunnels) أو إنشاء مشاريع تقع على جانبي الحدود بين دولتين متجاورتين فلابد عندها من معرفة الفروق بين مناسيب النقاط المرجعية والمنسوب الوسطي المعتمد لسطح البحر .

3 - تعتبر شبكات المناسيب المرجعية على غاية كبيرة من الأهمية للكثير من الأعمال المساحية وخصوصاً مشاريع المسح الطبوغرافي حيث الحاجة إلى رسم خطوط الكنتور وإبراز مناسيب المعالم الرئيسية .

3 - 6 المضلعات Traverses

1-3-6 مقدمـــــة

يصعب الاعتماد فقط على نقاط شبكة المثلثات (أو المسح المثلثـــي Triangulation) لانجاز الأعمال المساحية الخاصة بعمل المخططات الطبوغرافية والعقارية والمساحية الأخرى لمختلف أجزاء البلد الواحد . يعود السبب الرئيسي في ذلك إلى المسافات البعيـــدة الـــتي تفصل بين نقاط المثلثات مما يصعب من حيث الوقت والتكلفة ربط أعمال المساحة هـــذه (والتي تجري على أجزاء ومساحات صغيرة) بشبكة المثلثات ، أي بمرجعية الاحداثيـــات العامة الموحدة الثابتة للبلد . من أجل ذلك كان لابد من تكثيف نقاط شبكة المثلثـــات أو المسح المثلثي . ولعل في إنشاء المضلعات ما يفي بهذا الغرض .

المضلع بحد ذاته عبارة عن مجموعة خطوط متصلة ببعضها وتشكل بمجموعها خطاً منكسراً يأخذ أشكالاً مختلفة وبمسميات متعـــددة كـــالمغلق (Closed) والمفتـــوح (Open) والرابـــط (Connecting) والحلقي (Loop) وغير ذلك . تتفرع هذه الخطوط مـــن نقـــاط شبـــكة المثلثات العامة وتمتد باتجاهات مختلفة للإحاطة بالمبـــاني والطـــرق والســـاحات والحدائق ومختلف المعالم المراد عمل مخططات طبوغرافية أو عقارية (أو غير ذلك) لها .

2-3-6 الهدف المحدّد من إنشاء المضلعات

كما ذكرنا أعلاه ، يتلخص الهدف من أعمال التضليع (أو المسالك أو المضلعات) في تعيين إحداثيات (وبالتالي مواقع) نقاط جديدة انطلاقاً من واستناداً إلى شبكـــة نقـــاط قديمة معلومة الاحداثيات بدقة كشبكة المثلثات أو المسح المثلثي من مختلـــف الدرجـــات (Triangulation Network) . بهذا تساهم أعمال المضلعات في تكثيف شبكـــات النقـــاط المعلومة والمؤسسة سابقاً (بطرق مختلفة) ومن ثم يسهل ربط أعمال المساحة الأخرى (التي تنحصر في أجزاء صغيرة نسبياً وتكثر فيها المعالم والتفاصيل) بشبكة الأحداثيات العامـــة للدولة .

3-3-6 أنواع المضلعات (Types of Traverses) ، [م33][م46]

هناك الكثير من المسميات المختلفة للمضلعات ، سنذكر أبرزها :-

1 - المضلع المفتوح (Open Traverse) :

يطلق هذا الأسم على كل مضلع غير مغلق الشكل (أو الأضلاع) يبدأ بنقطتين معلومتي الاحداثيات (نقاط) مثلثات أو مضلعات محددة ومعلومة سابقاً) وينتهي بالغلق أو القفل على نقطتين أخريين معلومتي الأحداثيات أيضاً ، شكل (6-4) . تكون عادة المسافة بين الزوج الأول من النقاط المعلومة (نقطتا الربط) وبين الزوج الثاني من النقاط المعلومة (نقطتا القفل أو الإغلاق) بحدود (2km) إلى (3km) .

ملاحظات :

- البعض يطلق على المضلعات " المسالك " والبعض الآخر"التضليع" (إشارة إلى تأسيس وحساب نقاط المضلعات).
- البعض يطلق على هذا النوع من المضلعات المذكور أعلاه في البند (1) اسم" المضلع الرابط" (Connecting Traverse) .
- يكثر استخدام المضلعات الرابطة أو المفتوحة في مشاريع الطرق والمسارات المختلفة حيث تمتد لمسافات طويلة .

2 - المضلع المغلق (Closed Traverse) :

في هذا النوع من المضلعات ، يكون المضلع مغلقاً من حيث الأضلاع أو الشكل الخارجي ويبتدىء بالربط على نقطتي مضلعات أو مثلثات (أو نقطة مثلثات وأخرى مضلعات) معلومتي الأحداثيات ثم ينتهي بالغلق على نقطتي مضلعات أو مثلثات أخريين معلومتي الأحداثيات أيضاً، شكل (6 - 5) . كذلك تنطبق هذه التسمية على كل مضلع يبتدىء بالربط على نقطتين معلومتين وينتهي بالغلق على ذات النقطتين ، شكل (6-6) . من الواضح أن النوع الأول (شكل 6-5) أكثر دقة من النوع الثاني الذي يغلق على نفس نقطتي الربط . السبب في ذلك يعود إلى نقص الأدلة على عدم وجود خطأ مجهول المصدر في الأحداثيات المعطاه لنقطتي الربط، أو عدم حدوث إزاحة في أي منهما ، أو عدم حصول خطأ في التعرف عليهما

خط النهاية (الغلق)
للإحداثيات والسمت

نقطة مثلثات معلومة

(نقطة مضلعات معلومة) P_1

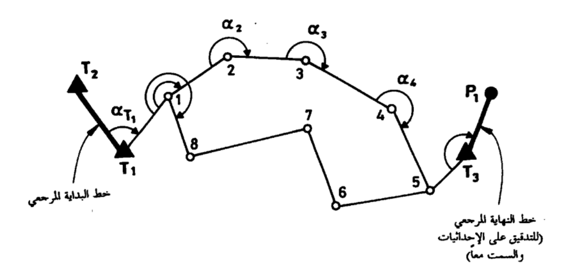
خط البداية
أو خط الربط للإحداثيات
والسمت (الأزموث أو الاتجاه)

نقطة الغلق أو النهاية
للإحداثيات

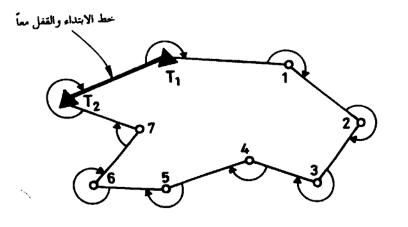
نقطـــة البدايـــة أو
الربط للإحداثيات

نقطـــــة أو رأس
أو ذروة مضلـــع
مجهولة الإحداثيات

شكل 6 - 4 مضلع مفتوح أو رابط (غير مغلق من حيث الأضلاع أو الشكل الخارجي)
يبتدىء بربطه بنقطتين معلومتين (أو نقطة معلومة وسمت معلوم) وينتهـــي
بالغلق أو القفل على نقطتين معلومتين أخريين (أو نقطة معلومة وسمت معلوم)



شكل 6 - 5 مضلع مغلق (من حيث الشكل) يبتدىء بالربط على نقطتين معلومتين وينتهي بالغلق على نقطتين أخريين معلومتين



شكل 6 - 6 مضلع مغلق (من حيث الشكل) يبتدىء بالربط على نقطتين معلومتين وينتهي بالغلــق على ذات النقطتين

(Misidentification) . وهنا نلاحظ أن وجود زوج آخر من النقاط المعلومـــة يتيـــح فرصـــة الكشف أو/و التدقيق والتحقق من عدم وجود مثل هذا النوع من الاحتمالات. لاحـــظ أنـــه يمكن حدوث خطأ في قياس الزوايا على الرغم من أن المجموع المقيس للزوايـــا الداخليـــة (أو الخارجية) يتوافق مع المجمـــوع النظري إذ قد تحصل ازاحة أو إنحراف لكامل المضلـــع دون أن يتأثر مجموع الزوايـــا. بعبارة أخرى ، أن الإغلاق الظاهري لزوايا المضلع لايعني تحقيق الدقـــة أو صحة العمل بالضرورة .

6 - 3 - 4 برنامج القياسات للمضلعات:

يمكن توضيح تسلسل إجراء القياسات الميدانية للمضلعات على الشكل التالي (حالة مضلع يبتدىء بالربط على زوج من النقاط المعلومة وينتهي بالإغلاق على زوج آخـــر مـــن النقاط القديمة المعلومة وبشكل مشابه تقريباً للحالات الأخرى من المضلعات المفتوحة والمغلقة):

1 – استطلاع الموقع المراد عمل المسح الطبوغرافي أو العقاري له .. إلخ . واختيـــار مواقـــع رؤوس المضلع أو المضلعات (حسب مدى اتساع منطقة المسح) بحيث تحيـــط تمامـــاً بالمعالم والتفاصيل المختلفة .

2 – غرس علامات مناسبة وثابتة في المواقع المختارة لرؤوس المضلعات ثم ترقيمها وعمـــل كروكي لكل منها لغايات التعرف عليها مستقبلاً وإعادتها إلى مواقعها الدقيقة في حالة حدوث إزاحة أو اقتلاع ، انظر الأشكال (3-13),(3-15), (3-16), (3-17).

3 – البحث عن أقرب نقطتين معلومتي الاحداثيات لموقع بداية المسح [سواء كانت نقـــاط مثلثات (Triangulation Point) أم نقاط مضلعات قديمة (Traverse Points)] وكذلـــك عن أقرب نقطتين معلومتين أخريين لموقع نهاية المشروع . وفي حالات المناطق الواسعة التي ستشملها أعمال المسح الطبوغرافي فإنه يجري البحـــث عـــن نقـــاط المثلثـــات والمضلعات المعلومـــة ضمن (في وسط وأطراف هذه المناطق) هذه المنـــاطق . يجـــدر الذكر أنه يتوجب مراجعة دوائر المساحة الرسمية ذات العلاقة للحصول على المعلومات

الكافية والدقيقة من حيث الأحداثيات والكروكيات لغايات التعرف على وتحديد مواقع نقاط المثلثات والمضلعات القائمة بالقرب من مناطق المسح الطبوغرافي المطلوب.

4 - يجري الآن قياس جميع الزوايا الأفقية بين جميع أزواج الأضلاع المتتالية بدءا من الضلع الذي يصل بين نقطتي الربط (الزاوية α_{T1} ، شكل 6-4) وانتهاءً بالضلع الذي يصل بين نقطتي الإغلاق (الزاوية α_{T3} ، شكل 6-4) مع ملاحظة ما يلي :ـ

* أن تقرأ الزاوية α_{T1} وكذلك الزاوية α_{T3} مرتين على الأقل وبشكل دقيق قبل نقل الجهاز منها إلى المحطة التالية أو الانتهاء من العمل .

* تقاس الزاوية الأفقية بالتسديد على النقطة أو المحطة السابقة(مثلاً T_2 في الشكل 6-4 باعتبار أن T_1 هي محطة الرصد أو المحطة التي يحتلها الجهاز) ولف المنظار باتجاه دوران عقرب الساعة نحو النقطة التالية (النقطة 1 في الشكل 6-4) وهكذا بالنسبة لجميع الزوايا الأفقية الأخرى . وعليه تكون آخر محطة رصد هي (T_3) حيث يجري منها التسديد على النقطة (5) والغلق على النقطة الأخيرة (P_1) .

5 - تقاس جميع المسافات الأفقية بين جميع النقاط بدقة (باستثناء المسافات بين النقاط المعلومة ، أي $T_1 T_2$ و $T_3 P_1$ نظراً لأنها تحسب من خلال الأحداثيات المعلومة). يجري القياس عادة باستخدام الدستومات (Electronic Distance Metre, EDM) كما يمكن أيضاً استخدام الشريط الفولاذي علماً بأن مثل هذا الأمر محدود وشبه نادر مع توفر أجهزة قياس المسافات الالكترونية باستثناء حالات معينة كوجود عوائق رؤية كثيرة وازدحام التفاصيل .

6-3-5 برنامج الحسابات للمضلعات [م11] [م24] [م33] [م52]

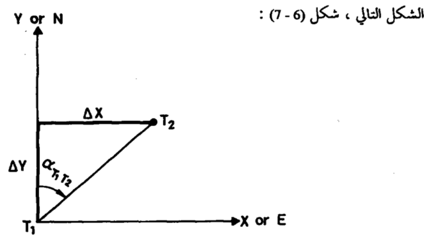
نوضح فيما يلي تسلسل خطوات الحساب لإحداثيات نقاط المضلعات المغلقة والمفتوحة .

1 - تصحيح الزوايا أو اتجاهات الاضلاع :

يتم تصحيح الزوايا أو اتجاهات الاضلاع من خطأ القفل (أو الغلق أو الاغلاق أو التكسير) الزاوي الذي سنرمز له بـــ " ε_α " (Azimuth Closure) من خـــلال الخطـــوات التالية :

أ - افتراض أو حساب السمت أو الأزموث أو الاتجاه الدائري الكلـــي (Azimuth or Whole Circle Bearing) لضلع البداية (Beginning Azimuth) .

هذا الضلع امّا أن يكون افتراضياً أو معلوماً سلفاً ومحدداً في الطبيعة أو أنه يصـــل بين نقطتين معلومتي الاحـــداثيات . في الحالة الثانية ، عندما يكون خط البدايـــة ذلـــك الذي يصل بين نقطتين معلومتين (مثل A و B) ، يحسب الأزموث أو الســـمت علـــى الشكل التالي ، شكل (6 - 7) :



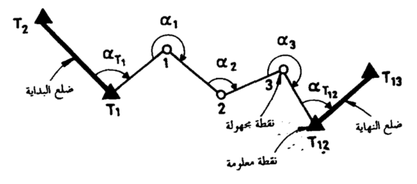
شكل (6-7) – السمت أو الازموث لضلع ما

$$\alpha_{ij} = \tan^{-1} [(x_j - x_i) / (Y_j - Y_i)] ....(1-6)$$

مع ضرورة ملاحظة الإشارة الجبرية لكل من المركبتين السينية والصادية إذ قد يلزم إضافة أو طرح للمقدار (180°) أو (360°) لاستنتاج السمت أو الاتجاه النهائي الصحيح.

ب - حساب السمت لكل ضلع من أضلاع المضلع :

استناداً إلى سمت ضلع البداية وإلى الزوايا الأفقية المقيسة بين أزواج أضلاع للمضلع المتتالية (مقيسة من الضلع السابق إلى الضلع اللاحق باتجاه دوران عقرب الســـاعة) يتـــم حساب سمت كل ضلع من أضلاع للمضلع على الشكل التالي ، شكل (6 - 8) :



شكل 6 -8

$$\alpha_{T_1-1} = \alpha_{T_1-T_2} + \alpha_{T_1} \qquad (2-6)$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{1-T_1} + \alpha_1$$

وإذا زادت القيمة الناتجة عن (360°) أو (400^g) نطرح (360°) أو (400^g) ويكون ناتج الطـــرح هو السمت المطلوب ، علماً بأن :

$$\alpha_{1-T_1} = \alpha_{T_1-1} \pm 180°$$

وهكذا تحسب السموت لكافة أضلاع المضلع بما في ذلك سمت ضلع القفل الأخير (أو ضلـــع البداية إذا عدنا إليه ثانية بسبب عدم توفر خط قفل عند نهاية المضلع).

جـ – حساب مقدار خطأ الإغلاق أو القفل ($Azimuth\ Closure, \varepsilon_\alpha$) :

بحسابنا لسمت ضلع القفل وبمعرفتنا لسمته أيضاً يكون خطأ القفل هـــو مقـــدار الفرق بينهما ، فإذا رمـــزنا للسمت المحسوب لضلع القفل بـــ (α') وللســـمت المعلـــوم لنفس الضلع بـــ (α) ، عندها يكون لدينا :

$$\varepsilon_\alpha = \alpha' - \alpha \qquad (3-6)$$

الآن يجري توزيع خطأ الإغلاق بالتساوي على الزوايا وذلك على الشكل التالي :

$$C_\alpha = -\varepsilon_\alpha / n \qquad (4-6)$$

حيث ترمز (C_α) إلى مقدار التصحيح على كل زاوية مقيسة مشاركة، كما ترمز (n) إلى عدد الزوايا المقيسة الداخلة في حساب السمت (الازموث) المرجعي (أي سمت أو أزموث

خط القفل أو الإغلاق)، أما الإشارة السالبة فهي بسبب أن إشارة التصحيح عكس إشارة الخطأ .

كطريقة ثانية (وهي الأنسب) يمكن توزيع الخطأ بشكل مباشر علـــى اتجاهـــات الأضلاع وذلك على الشكل التالي :

$$C_{\alpha_i} = -i\,(\varepsilon_\alpha / n) \qquad (5-6)$$

حيث ترمز (C_{α_i}) إلى مقدار التصحيح على اتجاه الضلع ذي الرقم (i) . وعليه إذا رمزنا بـــ (α_i') للاتجاه المحسوب لضلع ما (i) ورمزنا بـــ (α_i'') للاتجاه المصحح لنفس الضلع، عندها يكون لدينا :

$$\alpha_i'' = \alpha_i' + C_{\alpha_i}$$

$$\alpha_i'' = \alpha_i' - i\,(\varepsilon_\alpha / n) \qquad (6-6)$$

ملحوظة :

إذا كان الضلع مغلقاً شكلاً (Polygon) كما هو الحال في الشكل (6-5) فإنه يمكـــن التدقيق على الزوايا المقيسة أيضاً (أي بالإضافة إلى المقارنة بين الاتجاه المعلـــوم والاتجـــاه المحسوب لخط القفل، أي الضلع $T_3 - P_1$ في الشكل(6 - 5) والضلع $T_1 - T_2$ في الشكـــــل (6-6)) وذلك بمقارنة المجموع النظري للزوايا الداخليـــة (أو الخارجية)) بالمجموع المقيس لهذه الزوايا حيث :

مجموع الزوايا الداخلية للمضلع المغلق شكلاً (Polygon) يساوي : $(2N - 4)\ 90°$ أو :

$$\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i = (2N - 4)\ 90° \qquad (7-6)$$

حيث تشير (N) إلى عدد أضلاع أو رؤوس أو زوايا المضلع .

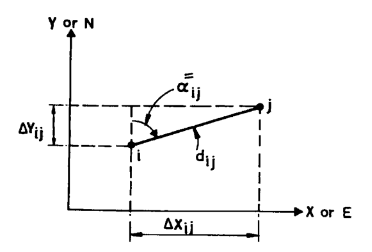
كذلك فإن مجموع الزوايا الخارجية للمضلع المغلق يساوي : $(2N + 4)\ 90°$

أو

$$\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i = (2N + 4)\ 90° \qquad (8-6)$$

2 – حساب الإحداثيات الأولية (Preliminary Coordinates) :

بعد الانتهاء من حساب الانحرافات المصححة لكافة أضلاع المضلع يجري حساب الإحداثيات الأولية (X , Y) لكل ركن من أركان المضلع استناداً إلى هـــذه الانحرافـــات المصححة وإلى المسافات الأفقية المقيسة ميدانياً وذلك على الشكل التالي، شكل (6 - 9) :



شكل 6 - 9 حساب الإحداثيات الأولية

$$\Delta X_{ij} = d_{ij} \operatorname{Sin} \alpha''_{ij} \quad ....(9-6)$$

$$\Delta Y_{ij} = d_{ij} \cos \alpha''_{ij} \quad ....(10-6)$$

حيث تشير (ΔX_{ij}) إلى المركبة السينية للضلـــع (ij) وتشير (ΔY_{ij})إلى المركبة الصادية، أما (α''_{ij})فتشير إلى الانحراف(السمت) المصحح للضلع الذي يصل بين النقطتين (i) و(j) كمـــا تشير (d_{ij}) إلى المسافة الأفقية للمقيسة ميدانياً بين نفس النقطتين. وعليه يمكن كتابة المعادلات التالية :

$$X'_j = X'_i + \Delta X_{ij} \quad ....(11-6)$$

$$Y'_j = Y'_i + \Delta Y_{ij} \quad ....(12-6)$$

حيث تشير (X'_j) و (Y'_j) إلى الإحداثيات الأولية للنقطة (j) التي تشتق بدلالة الإحداثيات الأولية للنقطة السابقة لها مباشرة (i) والمركبتين السينية والصادية للضلع(ij).

ملاحظات :

* يجب أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار في جميع المعادلات السابقة .
* هذه الإحداثيات غير نهائية على الرغم من تصحيح الانحرافات (الاتجاهات أو الزوايا) لأنها لا تزال تحمل أخطاء قياس المسافات التراكمية.

3 - حساب خطأ القفل في الموقع (Position Closure Error) :

بمعرفة الإحداثيين السيني والصادي للنقطة الأخيرة من المضلع (نقطة القفل أو الإغلاق) وبمقارنتهما مع القيمتين المحسوبتين المقابلتين لهما ، يمكن حساب خطأ القفل السيني $(\text{Closure Error in X-Coordinate}\ ,\ \varepsilon_x)$ وخطأ القفل الصادي $(\text{Closure Error in Y - Coordinate},\varepsilon_y)$ على الشكل التالي :

$$\varepsilon_x = X' - X \text{..} (13-6)$$
$$\varepsilon_y = Y' - Y \text{..} (14-6)$$

حيث ترمز (X') و (Y') إلى الإحداثيين السيني والصادي المحسوبين لنقطة القفل وأما (X) و(Y) فترمزان إلى الإحداثيين السيني والصادي المعلومين لنفس نقطة القفل.

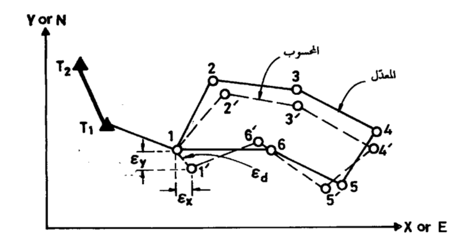
الآن يمكن حساب خطأ القفل الموقعي أو المكاني أو الخطي (Position or Linear Error of Closure, ε_d) على الشكل التالي :

$$\varepsilon_d = [(\varepsilon_X)^2 + (\varepsilon_y)^2]^{\frac{1}{2}} \text{..............................} (15-6)$$

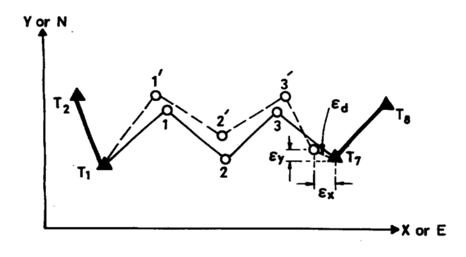
ملاحظات:

أ - الخطأ الخطي عبارة عن الخط المستقيم أو المسافة الفاصلة بين الموقع الصحيح والموقع المحسوب لنقطة القفل، شكل (10-6) وشكل(11-6) .

ب - يعتبر الخطأ الخطي مقياساً لدقة ونوعية قياسات زوايا وأضلاع المضلع.



شـــكل 6 - 10



شكل 6-11

جـ - يجري عادة التعبير عن الخطأ الخطي (خطأ الموقع) بشكل نسبي على الشكل التالي:

$$\text{Relative Error of Closure} = 1/\ (L/\epsilon_d) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (16 - 6)$$

حيث ترمز (L) إلى مجموع أطوال أضلاع المضلع .

د - يرتبط الخطأ الخطي بالطول الإجمالي لأضلاع المضلع وبالتالي كلما كان مجموع أطوال أضلاع المضلع أكبر كلما كان الخطأ الناتج أكبر والعكس صحيح .

4 - تصحيح الإحداثيات الأولية من خطأ القفل في الموقع :

يجري الآن حساب مقدار التصحيح لكل من الإحداثيين السيني والصادي لكافة أركان المضلع ومن ثم تطبيق هذه التصحيحات لاستنتاج الإحداثيات النهائية . من أجل ذلك سنقوم باستخدام معادلات التصحيح التالية :

$$CX'_i = (-l_i\ /\ L)(\varepsilon_x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (16 - 6)$$

$$CY'_i = (-l_i\ /\ L)(\varepsilon_y) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (17 - 6)$$

حيث ترمز (CX'_i) و (CY'_i) إلى مقدار التصحيحين السيني والصادي على الترتيب اللازم تطبيقهما على الإحداثيين الأوليين السيني والصادي للركن (i) من المضلع . كما ترمز (L) إلى مجموع أطوال أضلاع المضلع بين نقطة البداية ونقطة النهاية كما ذكرنا سابقاً. وأخيراً فإن (ε_X) و (ε_y) ترمزان كما هو معلوم إلى خطأي الإغلاق السيني والصادي على التوالي. وعليه فإن المعادلات التي تعطي قيم الإحداثيات المصححة (X_i, Y_i) للركن (i) من المضلع تكون على الشكل التالي :

$$X_i = X'_i + CX'_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (18 - 6)$$

$$Y_i = Y'_i + CY'_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (19 - 6)$$

حيث ترمز (X'_i) و (Y'_i) إلى الإحداثيين الأوليين السيني والصادي للنقطة (i) من المضلع على التوالي.

ملاحظات :

أ - تدعى طريقة تصحيح الإحداثيات الأولية السابقة (المذكورة أعلاه) بطريقة قانون البوصلة (Compass Rule) ويجري استخدامها عندما تكون الدقة الممكنة في قياس

المسافات متعادلة تقريباً مـــع دقة قياس الزوايا وهذا هو واقـــع الحـــال في أيامنـــا الحاضرة حيث تقاس الزوايا في الغالب لأقرب ثانية ستينية كما تقـــاس المســـافات باستخدام الدستومات (EDM) لأقرب (1mm) . كذلك يطلق على هـــذه الطريقـــة أحياناً بطريقة قاعدة بوديج (Bowditch Rule) نسبة إلى البّحار الأمريكـــي Nathaniel Bowdithch الذي عاش في الفترة ما بين عـــام 1773 وعام 1838 ميلادية ويعود الفضل إليه في صياغتها.

ب – هناك طريقة أخرى تدعى طريقة قانون الترانزيت (Transit Rule) تستخدم بشكـــل نادر في حسابات تصحيح الإحداثيات وتستند هذه الطريقة على افتراض أن دقـــة قياس الزوايا أعلى من دقة قياس المسافات. أمّا معادلات التصحيح في هذه الطريقة فتأخذ بعين الاعتبار أطوال المساقط السينية (Departures) وأطوال المساقط الصاديـــة (Latitudes) للأضلاع بدلاً من أطوال الأضلاع ذاتها ، أي :

التصحيح السيني على النقطة (i) يساوي :

[(مجموع أطوال المساقط السينية للأضلاع لغاية النقطة (i))

÷ (مجموع أطوال المساقط السينية لكافة أضلاع المضلع)]

× (خطأ الإغلاق السيني (ε_x))

.... (20 - 6)

التصحيح الصادي على النقطة (i) يساوي :

[(مجموع أطوال المساقط الصادية للأضلاع لغاية النقطة (i))

÷ (مجموع أطوال المساقط الصادية لكافة أضلاع المضلع)]

× (خطأ الإغلاق الصادي (ε_y))

.... (21 - 6)

مع ملاحظة أن إشارة المسقط الجبرية لا تؤخذ بعين الاعتبار، أي المجموع الحسابي التراكمي للمساقط (Cumulative Arithmetic Sum) .

جـ – حيثما تكون أضلاع المضلع متساوية تقريباً فيمكن توزيع خطأي الإغلاق السيني (ε_x) والصادي (ε_y) على الشكل التالي :

$$CX'_i = -i\,(\varepsilon_x / n) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (22-6)$$

$$CY'_i = -i\,(\varepsilon_y / n) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (23-6)$$

حيث ترمز (CX'_i) و (CY'_i) إلى مقدار التصحيح السيني والتصحيح الصادي للنقطة (i) على التوالي . كما ترمز (i) إلى رقم الضلع وأمّا (n) فترمز إلى عدد أضلاع المضلع (عدد المسافات المقيسة).

د - البعض يعتقد أن طريقة قانون الترانزيت أدق من كافة الطرق الأخرى بحجة أن الخطأ وبالتالي التصحيح يكون متناسباً مع مسقط الضلع على كل من المحورين وليس متناسباً فقط مع المسافة نفسها (إذ قد يكون الضلع أقصر من ضلع آخر ولكن مسقطه على أحد المحورين أكبر وعليه يكون التصحيح متناسباً مع المسقط وليس مع الضلع نفسه).

5 - حساب الأطوال والانحرافات النهائية :

بعد الحصول على الإحداثيات المصححة النهائية (Final Coordinates) يجري حساب انحرافات وأطوال (Final Azimuths and Lengths) أضلاع المضلع باستخدام هذه الإحداثيات بالطرق المشروحة آنفاً كما سنوضح ذلك في الأمثلة اللاحقة.

ملحوظة :

يمكن حساب مقدار التصحيح على طول كل ضلع من أضلاع المضلع على الشكل التالي :

$$Cd_i = \left(\frac{l_i}{L}\right) \varepsilon_d$$

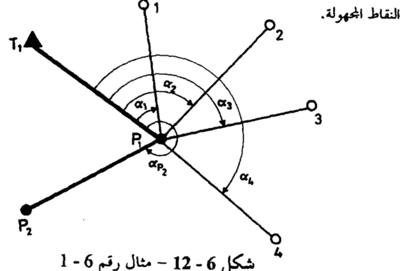
حيث ترمز (Cd_i) إلى مقدار التصحيح المطلوب تطبيقه (إضافته أو طرحه) على الضلع رقم (i) ، أمّا (l_i) فتشير إلى مجموع أطوال أضلاع المضلع حتى الركن (i) ، كما أن (L) تشير إلى مجموع أطوال أضلاع المضلع،وأخيراً (ε_d) تشير إلى الخطأ المكاني أو الموقعي.

بعد تصحيح الأضلاع يجري الآن حساب فروق الإحداثيات الصحيحة وبالتالي الإحداثيات الصحيحة.

أمثلة منوعة [م7] [م11] [م13] [م15] [م27] [م33] [م45] [م46] [م52]

مثال 6 -1 :

في الشكل (6 -12) ، النقطتان (P_1) و (T_1) معلومتـــا الإحداثيـــات والنقـــاط (1,2,3- 4) مجهولة الإحداثيات والمطلوب وصف الخطوات اللازمة لتعيـــين إحداثيـــات النقاط المجهولة.



شكل 6 - 12 - مثال رقم 6 - 1

الحل:

بملاحظة الشكل (6-12) تكون خطوات الحل كما يلي :

* يحسب الاتجاه الدائري (السمت أو الأزموث) للضلع ($P_1 T_1$) من خلال الإحداثيـــات المعلومة لهما ، أي :

$$\alpha_{P1-T1} = \tan^{-1} [(X_{T1} - X_{P1}) / (Y_{T1} - Y_{P1})$$

مع ملاحظة الربع الذي يقع فيه الضلع من خلال إشارة كل من المركبتـــين الســـينية والصادية لهذا الضلع .

* تقاس الزوايا الأفقية ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$)وبالتالي يسهل حساب الاتجـــاه الدائـــري للأضلاع ($P_1 1, P_1 2, P_1 3, P_1 4$)،على سبيل المثال :

$\alpha_{P_1 1} = \alpha_{P_1 T_1} + \alpha_1 \; , \; \alpha_{P_1 2} = \alpha_{P_1 T_1} + \alpha_2$

حيث ترمز $\alpha_{P_1 1}$ إلى أزموث (سمت أو اتجاه) P₁1 كما ترمز $\alpha_{P_1 2}$ إلى أزموث الضلع P₁2 وهكذا.

* نقيس للمسافات الأفقية : (P₁4, P₁3, P₁2, P₁1) .

* بمعرفة إحداثيات (P₁) وللمسافات الأفقية والسموت للأضلاع التي تصل بين P₁ وكل من النقاط المجهولة (4 , 3 , 2 , 1) يتم تعيين إحداثيات هذه النقاط . على سبيل المثال :

$$X_1 = X_{P_1} + d_{P_1 1} \sin \alpha_{P_1 1}$$

$$Y_1 = Y_{P_1} + d_{P_1 1} \cos \alpha_{P_1 1}$$

حيث ترمز ($d_{P_1 1}$) إلى للمسافة الأفقية للضلع (P₁1) كما ترمز ($d_{P_1 2}$) إلى المسافة الأفقية للضلع (P₁2) وهكذا .

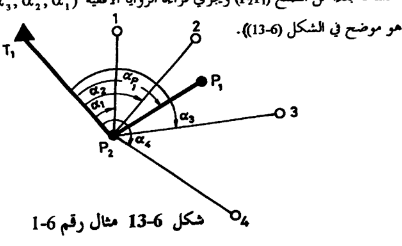
* نختار نقطة (P₂) بجوار (P₁) ، على بعد حوالي 20m إلى 30m من بعضهما ونحسب إحداثياتها بطريقة مشابهة ، أي قياس الزاوية الأفقية (α_{P_2}) وللمسافة الأفقية (P₁P₂) فيكون لدينا :

$$X_{P_2} = X_{P_1} + d_{P_1P_2} \sin \alpha_{P_1P_2}$$

$$Y_{P_2} = Y_{P_1} + d_{P_1P_2} \cos \alpha_{P_1P_2}$$

* ننقل جهاز قياس الزوايا (الثيودوليت)إلى النقطة (P₂) .

* من (P₂) نوجه المنظار (الثيودوليت إلى النقطة (T₁)) للعلومة الإحداثيات ونصفر الزوايا ثم نقوم برصد كل من النقاط 1,2,3 , 4 , P₁ (يلف للنظار باتجاه دوران عقرب الساعة بدءا من الضلع (P₂T₁) ويجري قراءة الزوايا الأفقية ($\alpha_4 , \alpha_3 , \alpha_2 , \alpha_1$) كما هو موضح في الشكل (13-6)).



شكل 13-6 مثال رقم 6-1

بهذا يمكن حساب اتجاهات الاضلاع ,($P_2 P_1$), ($P_2 1$), ($P_2 2$), ($P_2 3$), ($P_2 4$) ، حيث :

$$\alpha_{P_1 1} = \alpha_{P_2 T_1} + \alpha_1$$

$$\alpha_{P_1 2} = \alpha_{P_2 T_1} + \alpha_2$$

وهكذا مع ملاحظة أن :

$$\alpha_{P_2 T_1} = \tan^{-1}[(X_{T_1} - X_{P_2}) / (Y_{T_1} - Y_{P_2})]$$

ودون إغفال للإشارة الجبرية لكل من للركبتين السينية والصادية لملاحظة الربع الذي يقع فيه الضلع للعتبر ثم إضافة أو طرح (180°) أو (360°) حيثما يلزم .

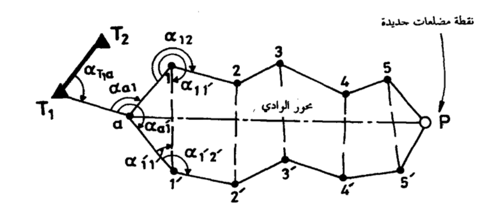
* نقيس للمسافات الأفقية للأضلاع التي تصل بين (P_2) وكل من : P_1 , 4 , 3 ,2,1 .
* تحسب إحداثيات النقاط : P_1 , 4 , 3 ,2,1 بدلالة إحداثيـــات P_2 للعلومـــة وللمســافات والاتجاهات للإضلاع ذات العلاقة باتباع نفس الأسلوب للذكور آنفا .
* نقوم بمقارنة الإحداثيات المحسوبة من خلال كل من (P_1) و (P_2) للتحقق من القياسات والحسابات وفي حالــة التطابق (باختلاف مقبول) يتم أخذ القيـــم للتوســطة مـــع ملاحظة ضرورة أن تكـــون إحداثيات النقطة P_2 قد قيست وحسبت بدقـــة كبـــيرة متميزة عن باقي النقاط (4,3,2,1) .

مثال رقم 6 - 2 :

نقطتان معلومتا الإحداثيات (T_2 , T_1) تقعان قرب بداية (أو نهاية) واد ضيق، يراد إنشاء نقطة أخرى وتعيين إحداثياتها بشكل دقيق. المطلوب وصف الخطوات اللازم إتباعها لإنجاز ذلك .

الحل ، شكل 6 - 14 :

أ - نختار نقاطاً قرب بداية الوادي (a) وعلى طرفي الوادي (1,1',2,2'.....5,5') .



شكل – 6 - 14 تأسيس نقاط مضلعات جديدة قرب بداية أو نهاية وادي أو طريق منخفض

ب – نضع جهاز الثيودوليت في (T_1) ونقيس الزاوية (α_{T_1a}) .

جـ– ننقل الجهاز إلى (a) ونقيس الزاوية (α_{a1}) والزاوية ($\alpha_{a1'}$) .

د – نثبت جهاز ثيودوليت في النقطة (1) وجهاز ثيودوليت آخر في النقطة (1') ثم من المحطة (1) نسدّد على (a) ونقيس الزاوية(α_{12}) والزاوية ($\alpha_{11'}$) ، كذلك من الجهاز المثبت في المحطة (1') نقرأ الزاوية ($\alpha_{1'1}$)و ($\alpha_{1'2'}$) .

هـ– نتابع العمل حتى النقطة (P) وذلك برصد كل نقطة من جهتين .

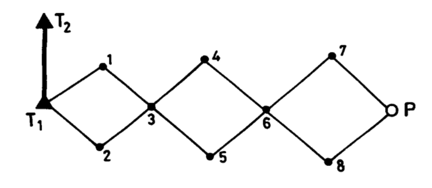
و – نقيس المسافات الأفقيـة (T_1a) و(a 1) و (a 1') و(11') و (12) و(1'2') و (22') و (23) و(2'3') و(2'3') .... إلخ (أي نقيس مسافتين لكل نقطة) .

ز - من السهولة الآن حساب إحداثيات النقطة (P) مع ملاحظة أن كل نقطة سيمكن حساب إحداثياتها من خلال مسارين مما يوفر آلية للتدقيق والتحقق من صحة القياسات والحسابات معاً .

مثال رقم- 6 - 3 :

صف خطوات تعيين نقاط مضلعات جديدة في الحالات التي تكون فيها الأرض وعرة جداً وتكثر فيها عوائق القياس والتوجيه.

الحل ، شكل - 6 - 15 :



شكل 6 - 15 تأسيس نقطة مضلعات جديدة في المناطق الوعرة جداً

أ - نبدأ بنقطتين معلومتين مثل (T_1) و (T_2) .

ب- نقيس الزوايا والمسافات وفق مسارين متقاطعين بشكل متتابع(للمسار : T_1-1-3-5-6-7- P) وللمسار: T_1-2-3-4-6-8- P) .

جـ- يمكن حساب إحداثيات نقاط التقاطع (b , 3) وفق مسارين مختلفين لحين وصول النقطة (P) المراد تأسيسها وتعيين إحداثياتها كنقطة مضلعات جديدة .

ملحوظة :

لاحظ أن إحداثيات كل من النقطتين (1) و (2) تحسب من الإحداثيات المعلومة للنقطة (T_1) (طبعاً بالإضافة إلى المسافات والاتجاهات الخاصة بهمـــا) ثم يجــرى حساب إحداثيات نقطة التقاطع (3) وفق مسارين، إحداهما من خلال النقطة (1) والآخر من خلال النقطة (2) . كذلك يجري تعيين إحداثيات (4) و (5) مــــن الإحداثيات المحسوبة للنقطة (3) والاتجاهات وللمسافات الخاصة بهما. بعد ذلـــك يجري حساب إحداثيات النقطة (6) أيضاً من خلال مسارين إحداهما من خــلال النقطة (4) والآخر من خلال النقطة (5) وأخيراً نحسب إحداثيات (7) و (8) من خلال (6) ومن ثم نحسب إحداثيات P من خلال (7) و (8).

6- 3 - 6 تصحيح المسافات من الأخطاء النظامية :

قبل إدخال أطوال أضلاع للضلعات للقيسة ميدانيـــاً في حســاب الاحداثيــات، يتوجب تصحيحها من الأخطاء النظامية (Systematic Errors). وهنا نميز بين اســـتخدام الشريط (By Taping) في قياس للمسافات إذ يتوجب هنا تصحيح للمسافات من تأثــيرات الشد (Tension) والحرارة (Temperature) والترخيم (Sag) وللميل (Slope)، وبين استخدام الدستومات أو القائس الالكتروني (EDM Equipment) حيث يلزم هنا تصحيح الأطـــوال للقيسة من تأثيرات العوامل الجوية وخطأ للقياس والأخطاء الثابتة. نبين فيما يلــي هـــذه التصحيحات وأمثلة عليها بافتراض أن للمسافة للقيسة هي (AB) إلى جانب الرموز التالية :

ترمز إلى للمسافة الأفقية لضلع ما (AB) : D_{AB}

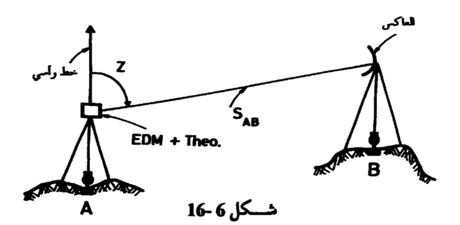
ترمز إلى للمسافة للمائلـــة للضلـــع (AB) : S_{AB}

الزاوية الرأســـية السمتية (Zenith Angle) : Z

1 – تصحيح الميل (Slope Correction) :

بالرجوع إلى الشكل (6-16)، يمكن كتابة

$$D_{AB} = S_{AB} \cdot \sin Z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (24\text{-}6)$$



شـــكل 6 -16

مثال رقم 6 - 4 :

إذا كانت (S_{AB}) تساوي 311.625m والزاوية الرأســـية الســـمتية (Zenith Angle,z) تساوي (″12 ′10 °110)وارتفاع الجهاز (مركز الرصد) يساوي ارتفاع مركز العاكس، فما هو مقدار للمسافة الأفقية (D_{AB}) ؟

الحل :

$$D_{AB(1)} = 311.625 \sin(110° \ 10' \ 12'') = 292.514m$$

2 – التصحيح الخاص بالشروط الجوية (Atmospheric Correction) :

بافتراض أن جهاز الدستومات هو الذي استخدم في قياس للمســـافات، فيتوجـــب عندها الرجوع إلى نوموغرام مرفق مع كاتالوج الجهاز لمعرفة قيمة التصحيح بدلالة درجة الحرارة أثناء القياس ومتوسط ارتفاع منطقة القياس فوق سطح البحر.

مثال رقم 6 - 5 :

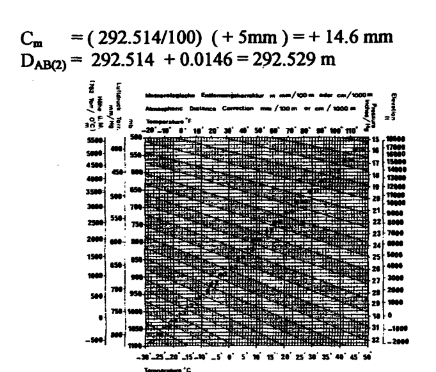
ما هو مقدار التصحيح الواجب تطبيقه على للسافة الأفقية المحسوبة في المثال (6-4) لإلغاء تأثير الشروط الجوية بافتراض أن درجة الحرارة أثناء القيـــاس كـــانت : $t = 25°$ ومتوسط ارتفاع منطقة القياس فوق المنسوب الوسطي لسطح الأرض : $H = 1250\ m$.

الحل :

من النوموغرام التالي (شكل 6-17) نجد أن قيمة التصحيح (Cm) اللازمة تطبيقـــها تساوي (+ 5mm/100m) وعليه :

$C_m = (292.514/100)\ (+5mm) = +14.6\ mm$

$D_{AB(2)} = 292.514 + 0.0146 = 292.529\ m$



شكل 6-17 نوموغرام تصحيح تأثير العوامل الجوية، كمثال فقط [م51]

3 – التصحيح الخاص بانحناء الأرض (Chord to Arc Correction) :

لتصحيح المسافة المقيسة من تأثير انحناء الأرض (Earth Curvature) نطبق المعادلة التالية (انظر الملحق رقم –) :

$$C_E = D^3 / [\, 24\, (R + H)^2\,] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (25 - 6)$$

حيث ترمز :

CE : مقدار التصحيح لتأثير انحناء الأرض

R : نصف قطر الأرض

H : متوسط ارتفاع منطقة القياس فوق المنسوب الوسطي لسطح البحر

مثال رقم 6-6 :

ما هو مقدار التصحيح الواجب تطبيقه على المسافة الأفقية المحسوبة في المثال رقم (5-6) لإلغاء تأثير انحناء الأرض علماً بأن ارتفاع منطقة القياس فوق سطح البحر وجد مساوياً : H = 1500 m ونصف قطر الأرض R = 6370 km .

الحل :

$$C_E = (292.529)^3 / [24 (6370000 + 1500)^2]$$

وهذه القيمة مهملة عملياً وعليه تبقى المسافة كما هي ، أي : $D_{AB(3)} = 292.529$ m

4 – التصحيح الخاص بالإسقاط على مستوى البحر :

لتوحيد مرجعية القياسات ، نقوم في مثل هذا النوع من التطبيقات بإسقاط المسافات عند مستوى سطح البحر. لذلك نطبق المعادلة التالية (انظر الملحق رقم –) :

$$C_S = (-D \cdot H) / R \quad \text{.................................} \quad (26\text{-}6)$$

مثال رقم 6 - 7 :

ما هو مقدار التصحيح اللازم تطبيقه على المسافة الأفقية المحسوبة في المثال رقم (6 -6) لإسقاطها عند مستوى سطح البحر علماً بأن القياس تم على ارتفاع (1200m) فوق سطح البحر وأن نصف قطر الأرض (6370 km).

الحل :

$$C_S = -(292.529)(1200) / 6370\,000$$

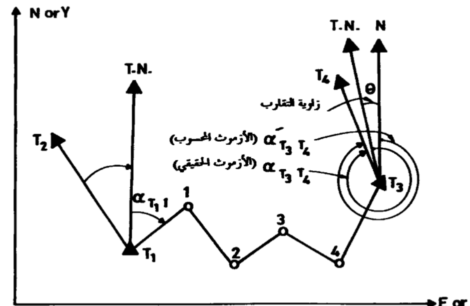
$$C_S = -0.055\text{m}$$

وعليه تكون المسافة الأفقية عند سطح البحر مساوية :

$$D_{AB(4)} = 292.529 + (-0.055) = 292.584\text{m}$$

5 – تصحيح الاتجاه True Azimuth Correction :

في حالات المضلعات التي تمتد لمسافات طويلة (عدة كيلومترات) باتجاه أقرب إلى شرق – غرب ، فلابدَّ من أخذ زاوية التقارب (Convergence Angle) بين اتجاهي الشمال في كل من نقطة البداية المعلومة للمضلع ونقطة النهاية المعلومة للمضلع.ففي الشكل (18-6) إذا كانت (T_1) هي نقطة بداية المضلع الرابط و (T_3) هي نقطة نهاية هذا المضلع وكان



شكل 6 - 18 تصحيح الاتجاه (الفرق بين الأزموث أو السمت المحسوب والسمت الحقيقي (المعلوم)

مجموع المساقط السينية للأضلاع (Departures) بين هاتين النقطتين يبلغ عدة كيلومترات فسيؤدي ذلك إلى اختلاف بين الأزموث المحسوب للضلع الأخير ($\alpha'_{T_3-T_4}$)والأزموث الحقيقي المعلوم (أي : $\alpha_{T_3-T_4}$).

إن الفرق بين القيمتين ولنرمز له بـ (θ) هو الذي يجب إدخاله كتصحيح على الأزموث أو السمت المحسوب قبل أن نعتمد خطأ الإغلاق السمتي (Azimuth Closure Error) وتصحيحه ، حيث :

$$\theta = \alpha_{T_3-T_4} - \alpha'_{T_3-T_4}$$

بعبارة أخرى ، أن خطأ الإغلاق السمتي الواجب إدخاله في التصحيح ليس $\alpha'_{T_3-T_4} - \alpha_{T_3-T_4}$ وإنما : $\text{Azimuth Closure Error} = (\alpha'_{T_3-T_4} + \theta) - (\alpha_{T_3-T_4})$

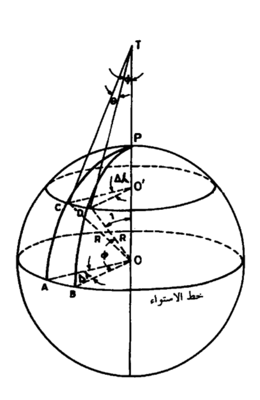
كما سنوضح ذلك في مثال لاحق .

اشتقاق قيمة زاوية التقارب :

لاشتقاق قيمة زاوية التقارب ، لدينا في الشكل (6-19) :

* نقطتا بداية ونهاية للضلع على التوالي : C , D

* متوسط زاويتي العرض (Latitude) للنقطتين (C) ، (D) ، أي : $\phi = (\phi_C + \phi_D)/2$
(إذا لم يقعا على خط عرض واحد وهذا ما يصعب عملياً)
* الفرق بين زاويتي الطول للنقطتين (C) و (D) : $\Delta\lambda$ ، أي $(\Delta\lambda = \lambda_D - \lambda_C)$



الشكل 6 - 19 اشتقاق قيمة زاوية التقارب [م33]

ومع ملاحظة ما يلي :

- الزاوية (DTO) تساي الزاوية (DOB) لأن كلاً منهما يساوي زاوية العرض ϕ((لاحظ أن زاوية (ODT) قائمة حيث (OD) نصف قطر و (DT) مماس وبالتالي الزاوية بينهما(90°).
- الزاوية (BOT) قائمة وعليه فإن :

$$\hat{1} + \phi = 1 + D\hat{T}O$$

وبالتالي فإن الزاوية DTO تساوي ϕ

الآن لدينا: $\Delta\lambda = CD / DO' \quad , CD = DO'.\Delta\lambda$

وكذلك :

$$\sin\phi = DO' / DT \, , DT = DO' / \sin\phi$$

ولدينا باعتبار الزاوية (θ) صغيرة :

$$\theta = CD / DT$$

وبالتالي فإنه بالتعويض عن قيم (CD) و (DT) في العلاقتين السابقتين ، ينتج :

$$\theta = (DO'.\Delta\lambda) / (DO' / \sin\phi)$$

$$\theta = \Delta\lambda \,.\, \sin\phi \quad \text{..} (26-6)$$

حيث θ و $\Delta\lambda$ بالراديان وكذلك :

$$\phi = (\phi_C + \phi_D) / 2$$

(إذا لم تقعا (D , C) على نفس خط العرض) .

ملاحظات :

أ - تعتمد قيمة زاوية التقارب(θ) على :

1 - مقدار مجموع المساقط السينية (Dapartures) لكامل أضلاع المضلع من نقطة بدايتـــه ولتكن (C) إلى نقطة نهايته ولتكن (D) .

2 - موقع المضلع من حيث قيمة زاوية العرض لكل من نقطة بدايته ونهايته .

ب - من الشكل السابق (6-19) وبالرمز لـــ (CD) بـــ (L) ، لدينا :

$$\Delta\lambda = CD / DO' = L / (OD \sin \hat{I})$$

لاحظ أن الزاوية (OO'D)تساوي (90°) وحيث أن (OD) يساوي نصف القطـــر الوسطي للأرض (R) وكذلك الزاوية ($\hat{I}$) تتمم الزاوية ϕوبالتالي :

$\sin \hat{I} = \cos\phi$ ، لذلك :

$$\Delta\lambda = L / (R \cos\phi) \text{..................................} (27-6)$$

ولكن ، كما وجدنا سابقاً :

$$\theta = \Delta\lambda \,.\, \sin\phi$$

وعليه فبالتعويض عن $(\Delta\lambda)$ يصبح لدينا :

$$\theta = (L / R \cos \phi) \sin \phi$$

$$\theta = L \tan \phi / R \text{.......................................} (28-6)$$

حيث θ بالراديان

مثال رقم 6 - 7 :

إذا كانت الاحداثيات الجغرافية لنقطة بداية المضلع (T_1) ونقطة نهاية المضلع(T_3) كالتالي :

$$\phi_{T_1} = 36° \quad 20' \quad 30'' \text{ N}, \lambda_{T_1} = 44° \, 12' \, 32'' \text{ w}$$

$$\phi_{T_3} = 36° \quad 14' \quad 20 \text{ N} \quad , \lambda_{T_3} = 44° \, 07' \, 28'' \text{ w}$$

المطلوب حساب قيمة زاوية التقارب θ التي يجب إضافتـــها إلى الســـمت (Azimuth) المحسوب لضلع النهاية قبل توزيع الخطأ السمتي (Azimuth Closure Error) .

الحل :

$$\theta = \Delta\lambda \quad \sin \phi$$

$$\phi = [(36° \quad 20' \quad 30'') + (36° \quad 14' \quad 20'')] / 2 = 36° \quad 17' \quad 25''$$

$$\Delta\lambda = 44° \quad 12' \quad 32'' - 44° \, 07' \, 28'' = 00° \quad 05' \quad 04''$$

$$\theta = 03' \rightarrow (05' \quad 04'' \times \sin 36° \, 17' \, 25'' \approx 3')$$

مثال رقم – 6 - 8 :

لديك المعطيات التالية :

* مجموع المساقط السينية بين بداية المضلع (T_1) ونهايته (T_3) يساوي : L=15.364 km
* السمت المحسوب لضلع النهاية (T_3 - T_4) :

$$\alpha'_{T_3-T_4} = 35° \quad 10' \quad 29''$$

* السمت المعلوم ، الصحيح (الحقيقي) لضلع النهاية :

$$\alpha_{T_3-T_4} = 35° \quad 15' \quad 37''$$

*قيمة متوسط زاوية العرض للنقطتين(T_1)و(T_3)تساوي: $\phi_{T_1,T_3} = 41° \quad 25' \quad 11''$

المطلوب حساب مقدار خطأ القفل السمتي الناتج عن الأخطاء في قياسات زوايا المضلـــع علماً بأن نصف القطر الوسطي للأرض : R = 6370 km (لاحظ أن النقطة T_3 تقـــع شرق النقطة T_1 ، انظر الشكل 6 - 18) .

الحل :

$$\theta = L \quad \tan \quad \phi / R$$

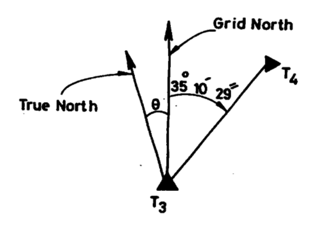
$$\theta = 15.364 \tan (41° \; 25' \quad 11'') / 6370$$

$$\theta = 7' \quad 19''$$

وعليه :

$$\text{Azimuth Closure Error} = \alpha'_{T_3-T_4} + \theta - \alpha_{T_3-T_4}$$

$$\text{Azimuth Closure Error} = 35° \; 10' \quad 29'' + 7' \quad 19'' - 35° \; 15' \quad 37'' = 2' \, 11''$$



7-3-6 – إحداثيات نقطة تقاطع عدة مضلعات (العقدة)ع [م46]

من الطبيعي أن تكون إحداثيات نقطة تقاطع مضلعين (أو أكثر) مختلفة بـاختلاف رقم المضلع التي حسبت على أساسه . في الشكل (6-20) يمكن حساب إحداثيات العقدة أو نقطة التقاطع (I) من خلال أربعة مضلعات أو مسالك هما (1) و (2) و (3) و(4) . سيكون لنقطة التقاطع (I) أربع قيم مختلفة لكل من (X) و (Y) ولابدّ من إيجاد قيمة واحدة لكل منهما وذلك بإتباع الخطوات التالية :

1 – احسب السمت لكل من الأضلاع (I3) و (I3') و (Ia) و (Ia') من خلال المسالك الأربعة مبتدئاً بالسمت المعلوم لكل من هذه المسالك (لاحظ أنه يوجد في بدايـة كـل مسلك نقطتان معلومتان وبالتالي يمكن حساب السمت من خلالهما ولاحظ أيضاً أن جميع الزوايا المرتبطة بها قد تم قياسها في الميدان بما في ذلك الزوايا γ,β,θ,η التي يجري التحقـق من أن مجموعها $360°$ ويوزع الخطأ بين هذه الزوايا الأربع واعتبارها مصححـة وعـدم إدخالها في أوزان السموت). وعليه سيكون لكل ضلع من هذه الأضلاع الأربعة أربعـة سموت بقيم مختلفة . على سبيل المثال ، سيكون للضلع (I3) السموت الأربعة :

$$(\alpha_{13})_1,(\alpha_{13})_2,(\alpha_{13})_3,(\alpha_{13})_4$$

2 – احسب السمت الموزون لكل الأضلاع (I3),(I3'),(Ia),(Ia')وذلك تبعاً لعدد الزوايا المقيسة في كل من المسالك الأربعة . على سبيل المثال :

المسالك	عدد الزوايا المقيسة لكل مسلك	الوزن (معكوس عدد الزوايا)	ملاحظات
1	4	$w_1=\frac{1}{4}$	الزوايا β,α,η,θ غير داخلة في الأوزان حيث يجـري تصحيحها على أسـاس أن مجموعها (360°).
2	4	$w_2=\frac{1}{4}$	
3	6	$w_3=\frac{1}{6}$	
4	5	$w_4=\frac{1}{5}$	



$(X_I)_1, (Y_I)_1, (X_I)_2, (Y_I)_2, (X_I)_3, (Y_I)_3, (X_I)_4, (Y_I)_4$

4 - احسب الاحداثيات الموزونة للنقطة (I) ، أي : (X_I , Y_I) وذلك تبعاً لمجموع أطوال مسلك من المسالك الأربعة على الشكل التالي :

المسلك	طول المسلك (أي مجموع أطوال الأضلاع لكل مسلك، m)	الوزن (معكوس طول المسلك)
1	(من A حتى I 1411.62 بالفرض)	$W_1 = 1/1411.62$
2	(من C حتى I 1619.33 بالفرض)	$W_2 = 1/1619.33$
3	(من E حتى I 1798.19 بالفرض)	$W_3 = 1/1798.19$
4	(من G حتى I 1702.31 بالفرض)	W4 = 1/1702.31
	$\sum W_i = 6531.45$	

وعليه تكون الإحداثيات المتوسطة الموزونة للنقطة (I) مساوية

$$X_I = (\sum_{i=1} (X_I)_i (W_i)) / \sum_{i=1}^{i=n} W_i \text{ ....}(30-6)$$

$$Y_I = (\sum_{i=1}^{i=n} (Y_I)_i (W_i)) / \sum_{i=1}^{i=n} W_i \text{ ....}(30-6)$$

حيث (X_I , Y_I) هي الإحداثيات الموزونة للنقطة (I) و $(X_I)_i$, $(Y_I)_i$ من المسلك ذي الرقم (i كما ترمز (i) إلى رقم المضلع أو للمسلك وترمز (n) إلى عدد المضلعات أو المســـــالك وكذلك (W_i) ترمز إلى وزن للضلع ذي الرقم (i) ويساوي معكوس طول كل مضلــــع .

وعليه تكون الإحداثيات الموزونة للنقطة (I) مساوية :

$$X_I = \frac{(X_I)_1(W_1) + (X_I)_2(W_2) + (X_I)_3(W_3) + (X_I)_4(W_4)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$X_I = [(X_I)_1(1/1411.62) + (X_I)_2(1/1619.33)(X_I)_3(1/1798.19) + (X_I)_4(1/1702.31)$$
$$[(1/1411.62) + (1/1619.33) + (1/1798.19) + 1/1702.31)]$$

$$Y_I = \frac{(Y_I)_1(w_1) + (Y_I)_2(W_2) + (Y_I)_3(W_3) + (Y_I)_4(W_4)}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$Y_I = [(Y_I)_1(1/1411.62) + (Y_I)_2(1/1619.33) + (Y_I)_3(1/1798.19) + (Y_I)_4(1/1702.31)$$
$$[(1/1411.62) + (1.1619.33) + (1/1798.19) + (1/1702.31)]$$

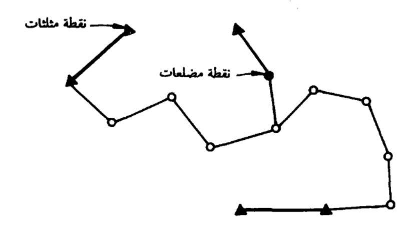
5 – تحسب الآن الإحداثيات النهائية للنقاط المجهولة من كل مسلك (باستثناء نقطة التقاطع I) وذلك بإتباع نفس الأسلوب السابق، أي أن كل مسلك يبدأ بإحداثيات معلومة وسمت معلوم وينتهي كذلك بإحداثيات متوسطة موزونة (نعتبرها معلومة ونهائية) لنقطة التقاطع (I) وبسمت معلوم (السمت الموزون لأحد المسالك وليكن في مثالنا الحالي ($\alpha_{I3'}$). على سبيل المثال، المضلع (1) يبدأ من النقطة (A) ذات الإحداثيات المعلومة والسمت المعلوم α_{AB}(من خلال إحداثيات النقطتين المعلومتين (B , A) وينتهي بالنقطة (I) ذات الإحداثيات المتوسطة الموزونة (اعتبرت نهائية) وبالسمت الموزون $\alpha_{I3'}$ (اعتبر معلوماً أو نهائياً). كذلك فإن المضلع رقم (3) يبدأ بالنقطة المعلومة (E) وبالسمت المعلوم (α_{EF}) وينتهي بالنقطة (I) ذات الإحداثيات المتوسطة الموزونة (النهائية) وبالسمت الموزون النهائي ($\alpha_{I3'}$) الذي نعتبره معلوماً. أما المضلع رقم (4) فيبدأ بالنقطة المعلومة (G) والسمت المعلوم (α_{GH}) وينتهي أيضاً بالنقطة (I) ، التي أصبحت معلومة،وبالسمت الموزون والنهائي ($\alpha_{I3'}$)الذي أصبح معلوماً. وأخيراً بالنسبة للمضلع الثاني فإنه يبدأ بالنقطة المعلومة (C) وبالسمت المعلوم (α_{CD}) وينتهي بالنقطة (I) المعلومة أيضاً (كما ذكرنا أعلاه) وبالسمت الموزون والنهائي ($\alpha_{I3'}$) الذي اعتبرناه معلوماً.

6 - 3 - 8 إحداثيات نقاط المعالم والتفاصيل :

يمكن استخدام الطريقة القطبية في إيجاد إحداثيات النقاط الممثلة للمعالم المختلفة بجوار أضلاع المضلعات (أصبحت بعد حساب إحداثيات أطرافها خطوطاً أساسية مرجعية). يتم ذلك بتثبيت جهاز المحطة الشاملة في أحد طرفي خط المضلعات (الركن الأقرب للتفصيل أو للمعلم) والتوجيه نحو النقطة المعتبرة وقياس مسافة وزيادة فتنتج إحداثيات هذه النقطة (أو أن يتم قياس مسافة بواسطة الدستومات وزاوية أفقية بواسطة الثيودوليت ومن ثم تحسب إحداثيات النقطة). على سبيل المثال، في الشكل (6-21) بقياسنا



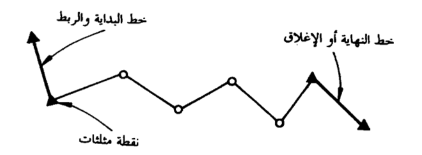




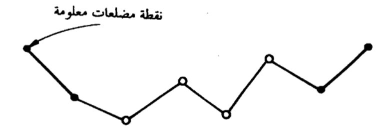
شكل 6-22 مقطع مفتوح طويل يبدأ بربطه من نقطتين معلومتين
ويجري غلقه على نقطتين أخريين معلومتين كل 2km إلى 3km

4 – هناك أشكال ومسميات أخرى للمضلعات المفتوحة خصوصاً لتلك التي تستخدم عندما لا تتوفر نقاط معلومة للغلق عليها.

5 – تكون دقة الاحداثيات المحسوبة لرؤوس (أركان أو ذروات) للمضلع أفضل عندما تقع هذه الذروات بين زوج نقاط مثلثات (للربط) وزوج آخر من نقاط مثلثات (للإغلاق)، شكل (6-23) . بينما تكون الدقة أقل في الحالات التي تنحصر فيها ذروات المضلع بين زوج من نقاط مضلعات (للربط) وزوج آخر من نقاط مضلعات (للإغلاق)، شكل (6-24) وشكل (6-25) .



شكل 6-23 – مضلع قوي أو رئيسي
(زوج نقاط مثلثات للربط وزوج آخر للإغلاق)



شكل 6 - 24 – مضلع ضعيف نسبياً أو ثانوي (زوج من نقطتي مضلعات معلومة للربط وزوج من نقطتي مضلعات معلومة للإغلاق)



المقيس (أو المحسوب) والسمت المعلوم لخط الغلق (من خلال الإحداثيات المعلومة لخط الغلق) والناتج عن قياس الزوايا الأفقية .

9 - إن وجود نقطة (على الأقل) معلومة الإحداثيات في بداية المضلع وأخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات في نهايته يسمح بتحديد الخطأ الناتج عن قياس المسافات والزوايا معاً بمقارنة الإحداثيات المحسوبة والمعلومة لنقطة الغلق .

10 - إن طريقة المضلعات شائعة التطبيق في أيامنا الحاضرة (خصوصاً بعد شيوع استخدام أجهزة الدستومات والمحطة الشاملة أو المتكاملة) وذلك لغايات إيجاد المواقع النسبية (Relative Positions) للعديد من النقاط المساحية التي تخص التفاصيل المنوعة. أنها تتلخص أساساً وببساطة في تعيين موقع أي نقطة من خلال قياس مسافة وزاوية.

11 - لابد في أعمال المضلعات من الانطلاق من نقطة معلومة الإحداثيات والقفل على نقطة معلومة أخرى (بنفس نظام الإحداثيات) أو العودة إلى ذات النقطة بالإضافة إلى توفر خط معلوم السمت (Azimuth) في البداية وآخر معلوم السمت عند نهاية المضلع لغايات الإغلاق (أو العودة إلى نفس ضلع البداية). جدير بالذكر أنه إذا كانت لدينا نقطة واقعة على اتجاه معلوم ولكن إحداثياتها غير معلومة، عندها تكون هذه النقطة عبارة عن علامة اتجاه أو سمت (Azimuth Mark) .

12 - لغايات توفر عناصر التحقق وبيان درجة الدقة ونوعية العمل المساحي، يجري عادة في أعمال المضلعات الانطلاق من نقطتين معلومتين (أو نقطة معلومة اتجاه معلوم) بجوار بداية المضلع والقفل على نقطتين أخريين (معلومتين في نفس نظام الإحداثيات لنقطتي البداية) بجوار نهاية المضلع (أو نقطة معلومة واتجاه معلوم).

13 - كما ذكرنا آنفاً ، هناك تسميات متنوعة للمضلعات ، فالبعض يطلق على المضلع الذي يبتدىء بنقطة معلومة وينتهي أيضاً بنقطة معلومة (بنفس نظام الإحداثيات) بـ مضلع مغلق أو مضلع رابط (Close or Connecting Traverse) . كذلك يطلق على المضلع الذي لا يقفل على نقطة معلومة بالمضلع المفتوح (Open Traverse) . أمّا المضلع المغلق الذي يبدأ بنقطة ويعود إلى ذات النقطة فيطلق عليه بالمضلع الحلقي (Loop

Traverse) . أمّا المضلع المغلق الذي يبدأ بنقطة ويعود إلى ذات النقطة فيطلق عليــــه بالمضلع الحلقي (Loop Traverse) .

14 – يغلب استخدام المضلع الرابط (Connecting Traverse) في إنشاء نقاط ضبط مســاحية (Survey Control Points) لأعمال الطرق والسكك الحديدية وخطوط القوى ومختلــف المشاريع ذات الصفة الطولية وذلك ضمن وعلى طول شريط الدراسة للمشـــروع المقترح إنشاؤه (Proposed Corridor for a Route Construction) وذلك

15 – يغلب استخدام المضلع الحلقي (Loop Traverse) في أعمال إنشاء نقاط مساحية جديدة لعمل مسح طبوغرافي لمشروع معين أو/و لتحديد أو بيان أطوال واتجاهات قطـــع الأراضي الواسعة (Boundaries of a Tract of Land) . في هذه الحالــة تكــون أركــان المضلعات هي ذاتها أركان قطعة الأرض المراد تحديد أطوال واتجاهات أضلاعـــها وبالطبع أضلاع المضلع هي نفسها أضلاع القطعة المعتبرة. هنا يلــزم (في أغلــب الأحيان لغايات الربط بالشبكة العامة المرجعية) ربط هذا المضلع الحلقي (أضـــلاع القطعة) بخط مجاور، معلوم الاتجاه وأحد طرفيه معلوم الإحداثيات أيضـــاً (أو أن يكون الخط رابطاً بين نقطتين معلومتي الإحداثيات) ، وذلك من خـــلال مضلــع قصير (Short Traverse) ، شكل (6-27) .



ملاحظات على الشكل (6- 28) :

* تم تحديد موقع النقطة أو الركن (1) من المبنى بقياس زاوية (α)ومسافة (A,1)، الطريقة القبطية (Polar Method) .
* تم تحديد موقع النقطة (2) بقياس زاويتين (β),(γ)، طريقة التقاطع الأمامي (Intersection Method) .
* تم تحديد موقع النقطة (3) بقياس طول العمود (3,3′) ومسافة (C, 3′) أو (D,3′) ، (Offset Method) .
* تم تحديد موقع النقطة (7)بقياس مسافتين من نقطتين محددتين على خط أساسي 7, D + 7, E ، أو (7,4″ + 7,4″) ، (Pair of Ties) .

17 – يبتدىء المضلع المفتوح (Open Traverse) بنقطة معينة ولا يغلق على نفس النقطة ولا على أي نقطة معلومة . على سبيل المثال الجزء (T_2 , T_1 , 1) في الشكل (6- 30) يمثل مضلعاً مفتوحاً يجب مراعاة أن يكون أقصر ما يمكن منعاً لتراكم الأخطاء حيث لايقفل هذا النوع من المضلعات على نقطة معلومة لأغراض التدقيق والتعديل ولغايات الحكم على دقة القياسات الميدانية. يستخدم هذا النوع في تحديد خط الوسط للنفق في مرحلة التنفيذ. يجدر بالملاحظة أنه إذا لم يتوفر خط معلوم الاتجاه بجوار قطعة الأرض، عندها يجري تحديد اتجاه أحد أضلاع القطعة بإحدى طرق الرصد الفلكي .

18 – إن عدم تجاوز أخطاء القفل السمتي (ε_α)والمكاني (ε_x,ε_y) في حسابات مضلع ما لايعني بالضرورة عدم وقوع أخطاء معتبرة وحتى فادحة . ذلك لأن احتمال وقوع أخطاء كبيرة ولكن متبادلة وملغية لبعضها البعض(أي متساوية تقريباً ومتعاكسة في الإشارة) في قياسات الزوايا والأضلاع ، أمر وارد في غياب احتياطات وعناصر تحقيق أخرى . لذلك يجب استخدام الأجهزة المصانة والمعايرة (Calibrated) وإتباع برامج قياسات وحسابات مناسبة .

19 – يجب مراعاة عدم استخدام نوع قياسات بشكل أدق من نوع آخر لنفس المشروع، أي يراعى أن تكون دقة قياس الزوايا منسجمة مع دقة قياس المسافات.

يعود هذا لسبب بسيط وهو أن مساحة المضلعات تستند أساساً إلى قياسات للزوايا والمسافات معاً. في الشكل (29-6) ، على سبيل المثال فإنه لتعيين موقع النقطة (2) بالنسبة لموقع النقطة (1) يلزم قياس الزاوية الأفقية(α) والمسافة الأفقية($d_{1,2}$). الآن إذا كان الخطأ المعياري (Standard Error) المصاحب لقياس الزاوية (α) مساوياً ($\sigma_\alpha = \pm 10''$)وأردنا تحقيق الانسجام والتساوي في دقة قياس الزاوية والمسافة، وجب عندها أن يكون الخطأ المعياري المصاحب لقياس المسافة ($d_{1,2}$) (أي: ($\sigma_{1,2}$)مساوياً :

$$\sigma_d = 2{,}2' = 2{,}2'' = d_{1,2}\ \sigma_\alpha$$

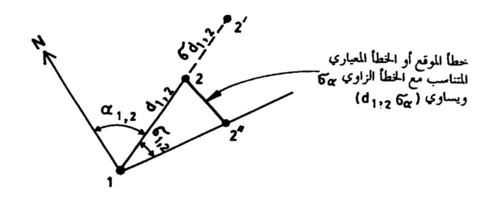
$$\sigma_d / d_{1,2} = \sigma_\alpha = 1/21\,000$$

أي أنه يتوجب قياس المسافة الأفقية ($d_{1,2}$) بدقة نسبية مقدارها (1/21000) في إطار (1σ).

وبطريقة مشابهة لو كانت القياسات للمسافات تجري بواسطة دستومات بدقة نسبية مقدارها (1/50000) على أساس(1σ) فإن دقة قياس الزوايا التي تتساوى وتنسجم مع هذه الدقة تكون :

$$\sigma = \sigma_d / d_{1,2}$$

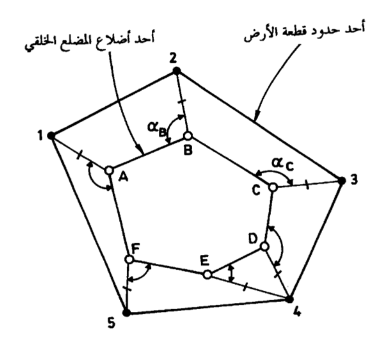
$$\sigma = (1.50000)\text{radian}, \quad \sigma = \pm 4 \text{ ses}$$



شكل -6-29 - انسجام دقة قياس الزوايا مع دقة قياس المسافات







شكل 6 - 30 مثال رقم -6-

علماً بأن سمت أو أزموث الضلع (B,2) يحسب على الشكل التالي :

$$\alpha_{B,2} = \alpha_{BA} + \alpha_B ; \alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^o$$

بنفس الطريقة نحسب إحداثيات الزاوية (3) بقيـــــاس المســـافة الأفقيـــة (C, 3) والزاوية (α_C) وعندها يكون لدينا :

$$X_3 = X_C + d_{C,3} \quad \sin(\alpha_{C,3})$$

$$Y_3 = Y_C + d_{C,3} \quad \cos(\alpha_{C,3})$$

حيث :

$$\alpha_{C,3} = \alpha_{CB} + \alpha_{C}$$

$$\alpha_{CB} = \alpha_{BC} + 180^{\circ}$$

وفي جميع الحالات ، إذا زادت القيمة على (°360) نطرح (°360) .

وهكذا وبنفس الأسلوب نحسب إحداثيات باقي زوايا قطعة الأرض (1,5,4) .

د - بمعرفة إحداثيات زوايا قطعة الأرض، يجري حساب اتجاهات وأطوال الأضلاع المثلة لحدود قطعةالأرض من خلال إحداثيات طرفي كل ضلع باستخدام للعادلات الرياضية أعلاه .

مثال 6 -10 :

المطلوب إنجاز العمليات الحسابية التالية للمضلع المبين في الشكل (6-31) :

أ - حساب الإحداثيات المصححة النهائية لكافة أركان المضلع .

ب - حساب مسافة وانحراف كل ضلع من أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات المصححة النهائية.

علماً بأن إحداثيات طرفي خط البداية المرجعي ($T_1 T_2$) هي كالتالي :-

	X(m)	Y(m)
T_1	5061.630	4327.520
T_2	4376.410	5923.190

أما أطوال الأضلاع ومقادير الزوايا الأفقية فهي مدونة على الشكل نفسه .

ملحوظة :

افترض أنه تم استخدام جهاز ثيودوليت عدّه الأصغري (Least Count) دقيقة ستينية واحدة (1' Theodolite) في قياسات الزوايا الأفقية. كذلك افترض أن العمل مطلوب لغايات المرحلة الاستطلاعية الأولية من دراسة مشروع طريق معين مما لايتطلب دقة عالية ، ولتكن 1/2000 (حالة افتراضية فقط). مرة أخرى اعتبر الأرقام الواردة هنا هي لغايات التوضيح بشكل أساسي .

الحل :

1 - حساب الانحراف الدائري الكلي (السمت أو الأزموث) للخط المرجعي ($T_1 T_2$).





α3−4 = ⟶	112° 05′ 20″ +180° 00′ 00″
α4−3 = ⟶	292° 05′ 20″ + 202° 40′ 36″ 494° 45′ 56″ − 360° 00′ 00″
α4−5 = ⟶	134° 45′ 56″ +180° 00′ 00″
α5−4 = ⟶	314° 45′ 56″ + 306° 01′ 45″ 620° 47′ 41″ − 360° 00′ 00″
α5−6 = ⟶	260° 47′ 41″ − 180° 00′ 00″
α6−5 = ⟶	080° 47′ 41″ +194° 36′ 16″
α6−7 = ⟶	275° 23′ 57″ − 180° 00′ 00″
α7−6 = ⟶	095° 23′ 57″ − 263° 06′ 21″
α7−1 = ⟶	358° 30′ 18″ − 180° 00′ 00″
α1−7 = ⟶	178° 30′ 18″ + 207° 22′ 43″ 385° 53′ 01″ − 360° 00′ 00″
α1−2 = ⟶	025° 53′ 01″

3 – خطأ الغلق السمتي (Closure Error in Azimuth , ε_α)

$\varepsilon_\alpha = \alpha_{1,2(comp.)} - \alpha_{1,2(known)}$

$\varepsilon_\alpha = 25° \quad 53' \quad 01'' - 25° \quad 50' \quad 44'' = 00° \; 02' \; 17''$

وحيث أننا افترضنا استخدام جهاز ثيودوليت عدّة الأصغري يساوي (1')، لذلك فإن الخطأ المسموح يساوي :

$d\sqrt{N} = 1'\sqrt{7} \quad = 2' \; 39''$

حيث ترمز (d) إلى العدّ الأصغري لجهاز الثيودوليت وترمز (N) إلى عدد زوايا أو أركان المضلع. من الواضح أن خطأ القفل السمتي المحسوب أعلاه(2' 17'') أصغر من الخطأ المسموح به ، لذلك يمكن توزيع خطأ القفل السمتي على الشكل التالي.

4 – توزيع خطأ القفل في الانحرافات (ε_α):

يتم التوزيع وفق المعادلة : $C_{\alpha_{ij}} = -i(\varepsilon_\alpha / n)$ حيث ترمز ($C_{\alpha_{ij}}$) إلى مقدار التصحيح السمتي للضلع (ij) وترمز (i) إلى رقم الضلع الخاضع للتصحيح وأمّا(n) فترمز إلى عدد الزوايا الداخلة في حساب الانحرافات وعليه سيكون لدينا التصحيحات التالية (مع ملاحظة أننا افترضنا قياس الزاويتين $T_1,\hat{T}_1,2$, $T_2,\hat{T}_1,1$ بدقة شديدة وبالتالي سنعتبر أن سمت الضلع 2 ,1 المحسوب من خلال هاتين الزاويتين، بالإضافة إلى السمت المحسوب للضلع المرجعي T1 T2، دقيقاً ومرجعياً في حسابات السموت وتصحيحها لأضلاع المضلع الباقية):

$C_{\alpha_{2,3}} = -1\,(137''/7) = -20''$
$C_{\alpha_{3,4}} = -2\,(137/7) = -39''$
$C_{\alpha_{4,5}} = -3\,(137/7) = -59''$
$C_{\alpha_{5,6}} = -4\,(137/7) = -1' \quad 18''$
$C_{\alpha_{6,7}} = -5\,(137/7) = -1' \quad 38''$
$C_{\alpha_{7,1}} = -6\,(137/7) = -1' \quad 57''$
$C_{\alpha_{1,2}} = -7\,(137/7) = -2° \quad 17''$

انظر الجدول (6-2) التالي الذي يبين الانحرافات المصححة (α'_{ij}) بموجب تطبيق العلاقة الرياضية : $\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + C_{\alpha_{ij}}$





6 – خطأ القفل في الإحداثيات :

1 – خطأ الإغلاق أو القفل السيني (ε_x)

$$\varepsilon_x = X_{1(comp.)} - X_{1(known)}$$

$$\varepsilon_x = 5181.057 - 5180.918 = +0.139m$$

2 – خطأ الإغلاق الصادي (ε_y)

$$\varepsilon_y = Y_{1(comp.)} - Y_{1(known)}$$

$$\varepsilon_y = 4310.114 - 4309.745 = +0.369m$$

3 - الخطأ الخطي (ε_d)

$$\text{Linear Error} = \varepsilon_d = [(\varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_y)^2]^{\frac{1}{2}}$$

4 – الخطأ النسبي

$$\text{Relative Error} = \varepsilon_d / \sum_{d_i} = 0.394 / 874.351 = 1/2000$$

7 – توزيع خطأ القفل (الإغلاق أو التكسير)

بافتراض أن الخطأ النسبي مقبول، سنقوم بتوزيعه على الشكل التالي :

$$C_{x_i} = -(\sum l_i / D)\varepsilon_x$$

$$C_{y_i} = -(\sum l_i / D)\varepsilon_y$$

حيث :

التصحيح على الإحداثي السيني الأولي للنقطة (i)...................... C_{x_i}

التصحيح على الإحداثي الصادي الأولي للنقطة (i) .... C_{y_i}

المجموع التراكمي لأطوال الأضلاع حتى النقطة المعتبرة (i) .... Σl_i

مجموع أطوال أضلاع للضلع .... D

خطأ الإغلاق السيني .... ε_x

خطأ الإغلاق الصادي .... ε_y

انظر الجدول رقم (6 - 4) .

8 – حساب الإحداثيات النهائية (X_i', Y_i'):

تحسب الإحداثيات النهائيـــة$(X_{i'}, Y_{i'})$ ، لكل نقـــطة من نقاط المضلـــع المعتـــبرة بإضافة مقدار التصحيح (السيني والصادي) المحسوب لكل من هذه النقاط إلى كل من الإحداثيين السيني والصادي الخاص بكل من هذه النقاط وذلك على الشكـــل التالي، انظر الجدول رقم (6-4) :

$$X_i' = X_i + C_{x_i}$$
$$Y_i' = Y_i + C_{y_i}$$

حيث ترمز (Y_i, X_i) إلى الإحداثيات الأولية للنقطة المعتبرة (i) .

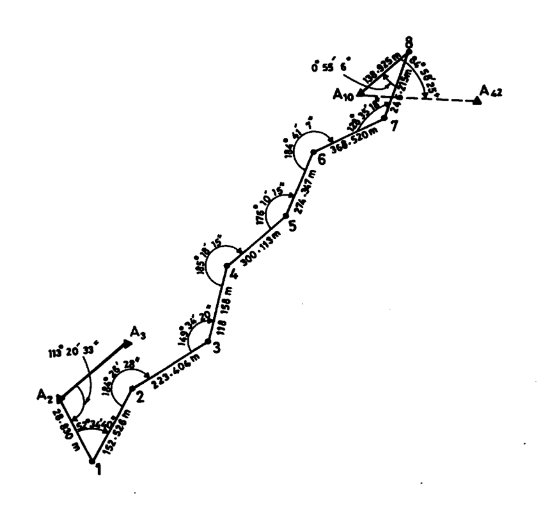
9 – حساب الأطوال النهائية (d_{ij}') والانحرافات (السموت) النهائيـــة (α_{ij}'')لأضـــلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية .

بعد أن انتهينا من تصحيح الإحداثيات نقوم باستخدامها في حســـاب الأطـــوال والسموت النهائية لأضلاع المضلع ، انظر الجدول رقم (6-5) .

الجدول رقم (6-4)

المحطة	طول الضلع m	Σli (m)	التصحيحات Cxi (m)	التصحيحات Cyi (m)	الإحداثيات الأولية X (m)	الإحداثيات الأولية Y (m)	الإحداثيات النهائية X'(m)	الإحداثيات النهائية Y' (m)
1							5180.918	4309.745
	126.534	126.534						
2			-0.020	-0.053	5236.080	4423.622	5236.060	4423.569
	57.401	183.935						
3			-0.029	-0.078	5292.785	4432.533	5292.756	4432.455
	158.256	342.191						
4			-0.054	-0.144	5439.431	-4373.052	549.377	4372.908
	125.821	468.012						
5			-0.074	-0.198	5528.789	4284.473	5528.715	4284.275
	250.143	718.155						
6			-0.0114	-0.303	5281.883	4244.364	5281.769	4244.061
	99.766	817.921						
7			-0.345	-0.345	5182.561	4253.704	5182.431	4253.359
	56.430	874.351						
1			-0.369	-0.369	5181.057	4310.114	5180.918	4309.745





شكل رقم -6-32- المثال رقم 6-11

الحـــــل :

1- حساب الانحراف الدائري الكلي (أزموث) للخط المرجعي (A2 A3):

$$\alpha_{A2\text{-}A3} = \tan^{-1} \frac{X_{A3} - X_{A2}}{Y_{A3} - Y_{A2}}$$

$$\alpha_{A2\text{-}A3} = \tan^{-1} \left(\frac{1787.000 - 1748.552}{5266.018 - 5051.688} \right) = 10^{\circ}10'12''$$

2- حساب الأزموث لأضلاع المضلع (α_{ij}) :

	°	/	//
$\alpha_{A2\text{-}A3}$	10	10	12
	+113	20	33
$\alpha_{A2\text{-}1}$	123	30	45
	+180	00	00
$\alpha_{1\text{-}A2}$	303	30	45
	+52	34	40
$\alpha_{1\text{-}2}$	356	05	25
	-180	00	00
$\alpha_{2\text{-}1}$	176	05	25
	+184	26	28
....	360	31	53
	-360	00	00
$\alpha_{2\text{-}3}$	000	31	53
	+180	00	00
$\alpha_{3\text{-}2}$	180	31	53

	+149	34	20
α_{3-4}	330	06	13
	-180	00	00
α_{4-3}	150	06	13
	+185	18	15
α_{4-5}	335	24	28
	-180	00	00
α_{5-4}	155	24	28
	+176	10	15
α_{5-6}	331	34	43
	-180	00	00
α_{6-5}	151	34	43
	+184	41	07
α_{6-7}	336	15	50
	-180	00	00
α_{7-6}	156	15	50
	+128	35	18
α_{7-8}	284	51	08
	-180	00	00
α_{8-7}	104	51	08
	+000	55	06
α_{8-A10}	105	46	14
	+180	00	00
α_{A10-8}	285	46	14
	+84	58	25
....	370	44	39
	-360	00	00
$\alpha_{A10-A42}$	10	44	39

3- خطأ الإغلاق (القفل أو التسكير ε_α Closure) في الانحرافات

دعنا نرمز لخطأ الإغلاق في الانحرافات (Closure in Azimuth) بـــ (ε_α) :

$$\varepsilon_\alpha = \alpha_{A10-A42(comp.)} - \alpha_{A10-A42(known.)}$$
$$\varepsilon_\alpha = 10° \, 44' \, 39'' - 10° \, 41' \, 33'' = 3' \, 6''$$

بافتراض أن درجة الدقة المطلوبة هي المرتبة الرابعة (مرحلة الاستكشاف والتخطيط ، كتاب مساحة المسارات لمؤلفة ، د. يوسف صيام ، صفحة رقم 89 ، جدول رقم (4-12)) .

وبافتراض أن جهاز الثيودوليت المستخدم في قياس الزوايا كان بعدّ اصغري (d;Least Count) مقداره $(d = 1')$، أي $(1'$ Theodolite) وحيث أن (N) التي سترمز إلى عدد الزوايا المقيسة والداخلة في حسابات الانحرافات تساوي (10) ، عندها يكون المجال المسموح في خطأ القفل في الانحرافات مساوياً :

$$d\sqrt{N} = 1'\sqrt{10} = 190''$$

وهذا المقدار أكبر من خطأ القفل المحسوب ($186''$) وعليه يمكن توزيعه على كامل الانحرافات كما هو موضح في الفقرة التالية .

4- توزيع خطأ الإغلاق في الانحرافات (ε_{α})

سنقوم بتوزيع خطأ الإغلاق باستخدام العلاقة التالية :

$$C_{\alpha ij} = - i\,(\varepsilon_{\alpha}/ N)$$

(وذلك بافتراض أن خطأ الإغلاق لا يتجاوز المجال المسموح بـه كمـا ذكرنـا في الفقـرة السابقة) حيث ترمز ($C_{\alpha ij}$) إلى مقدار التصحيح في إنحراف الضلع (ij) و (ε_{α}) إلى مقدار خطأ القفل أو الاغلاق و(i) إلى رقم او الترتيب المتسلسل للزاوية او الضلع الخاضع للتصحيح ، واما (N) فيرمز إلى عدد اضلاع المضلع الخاضعة للتصحيـــــح (نفس عدد الزوايا الداخلة في حساب الانحرافـات وصـولاً إلى حسـاب خطـأ القفـل او الإغلاق في الانحرافات).

وعليه نقوم بترتيب الجدول رقم (6-6) التالي الذي يبين الانحرافـات المصححـة (α'_{ij}) بموجب تطبيق العلاقة الرياضية التالية :

$$\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + C_{\alpha ij}$$

جدول رقم (6-6) الانحرافات المصححة لأضلاع المضلع (α'_{ij})

الضلع ij	الانحراف الدائري او الأزموث α_{ij}			مقدار التصحيح $C_{\alpha ij} = - i(\varepsilon_\alpha / N)$		الانحراف المصحّح ($\alpha'_{ij} = \alpha_{ij} + C_{\alpha ij}$)		
	°	/	//	/	//	°	/	//
A_2-1	123	30	45	-0	19	123	30	26
1-2	356	05	25	-0	37	356	04	48
2-3	00	31	53	-0	56	0	30	57
3-4	330	6	13	-1	14	330	04	59
4-5	335	24	28	-1	33	335	22	55
5-6	331	34	43	-1	52	331	32	51
6-7	336	15	50	-2	10	336	13	46
7-8	284	51	08	-2	29	284	48	39
8-A_{10}	105	46	14	-2	47	105	43	27
A_{10}-A_{42}	10	44	39	-3	06	10	41	33

5- حساب الاحداثيات الأولية (Preliminary Coordinates)

انطلاقا من احداثيات نقطة البداية (A_2) ذات الاحداثيات المعلومة نقوم بحساب احداثيات أركان المضلع باستخدام العلاقتين الرياضيتين التاليتين :

$$X_j = X_i + d_{ij} \sin \alpha'_{ij}$$
$$Y_j = Y_i + d_{ij} \cos \alpha'_{ij}$$

حيث ترمز (d_{ij}) الى مسافة الضلع (ij) الأفقية ويمكن كتابة العلاقتين أعلاه ، أيضا ، على الشكل التالي :

$$X_j = X_i + \Delta X_{ij}$$
$$Y_j = Y_i + \Delta Y_{ij}$$

حيث :

$$\Delta X_{ij} = d_{ij} \sin \alpha'_{ij}$$
$$\Delta Y_{ij} = d_{ij} \cos \alpha'_{ij}$$

وعليه نقوم بترتيب الجدول رقم (6 -7) التالي بالاحداثيات الأولية (X_i , Y_i) لأركان المضلع :

6- خطأ الإغلاق في الإحداثيات

دعنا نرمز لخطأ الإغلاق في الإحداثيات السينية ب ε_x ولخطأ الإغلاق في الإحداثيات الصادية ب ε_y ،

جدول -7-6- الإحداثيات الأولية $(X_i$ and Y_i Preliminary Coordinates)

النقطة	α'_{ij} الإنحراف المصحح			d_{ij} المسافة	المركبة السينية	المركبة الصادية	الإحداثي السيني الأولي	الإحداثي الصادي الأولي
Station	Corrected AZ. °	/	//	Distance m	$\Delta X_{ij}=d_{ij}\sin\alpha'_{ij}$ m	$\Delta Y_{ij}=d_{ij}\cos\alpha'_{ij}$ m	X	Y
A_2							1748.552	5051.688
	123	30	26	28.830	24.039	- 15.915		
1							1772.591	5035.773
	356	04	48	152.526	- 10.427	152.169		
2							1762.164	5187.942
	000	30	57	223.404	2.011	223.395		
3							1764.175	5411.337
	330	04	59	118.158	- 58.931	102.413		
4							1705.244	5513.75
	335	22	55	300.113	- 125.017	272.834		
5							1580.227	5786.584
	331	32	51	274.347	- 130.707	241.209		
6							1449.520	6027.793
	336	13	40	368.520	- 148.551	337.253		
7							1300.969	6365.046
	284	48	39	246.215	- 238.035	62.940		
8							1062.928	6427.985
	105	43	27	138.925	133.726	- 37.650		
A_{10}							1196.654	6390.336

حيث :

$$\varepsilon_x = X_{A10(comp.)} - X_{A10(Known)}$$
$$\varepsilon_x = 1196.654 - 1196.949 = -0.295m$$

$$\varepsilon_Y = Y_{A10(comp.)} - Y_{A10(Known)}$$
$$\varepsilon_Y = 6390.336 - 6390.455 = -0.119m$$

أما مقدار الخطأ الخطي (Linear Error) ، أي ε_d ، فيساوي :

$$\varepsilon_d = \sqrt{(\varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_Y)^2}$$
$$\varepsilon_d = \sqrt{(-0.295)^2 + (-0.119)^2} = 0.32m$$

ومقدار الخطأ النسبي فيساوي :

$$\text{Relative Error} = (\varepsilon_d)/(\sum d_i) = \frac{0.32}{1851.038} = \frac{1}{5784}$$

حيث ترمز $\sum d_i$ الى مجموع أضلاع المضلع الداخلة في حساب الاحداثيات ، ويمكن الرمز لها أيضا ب (D) .

وبافتراض أن هذا الخطأ النسبي مقبول (يفي بمتطلبات الدقة للمرتبة الرابعة– مرحلة الاستكشاف والتخطيط، كتاب مساحة المسارات لمؤلفه د.يوسف صيام ، صفحة رقم (89) ، جدول رقم (4-12) لذلك سنقوم بتوزيعه كما هو موضح في الفقرة التالية .

7- توزيع خطأ الإغلاق في الاحداثيات(ε_y ,ε_x)

نقوم الآن بتوزيع خطأ الإغلاق في كل من مجموعة الإحداثيات السينية ومجموعة الإحداثيات الصادية على الشكل التالي (انظر الجدول رقم (6-8) :

$$C_{Xi} = -\left(\frac{\varepsilon_X}{D}\right) Li$$

$$C_{Yi} = -\left(\frac{\varepsilon_Y}{D}\right) Li$$

حيث تشير (ε_X) و (ε_Y) الى خطأي الإغلاق في الاحداثيات السينية والصادية على الترتيب (كما ذكرنا آنفا) وترمز (D) الى مجموع أطوال أضلاع المضلع الداخلة في حساب الاحداثيات (كما ذكرنا آنفا) وترمز (L_i) الى المجموع التراكمي لأطوال اضلاع المضلع المعتبراً بدءا من الضلع المعتبر الأول ولغاية النقطة المعتبرة (i) وأخيرا ترمز (C_{xi}) و C_{Yi} الى التصحيحين الواجب تطبيقهما (اضافتهما جبريا) الى الإحداثيين السيني والصادي للنقطة (i) على الترتيب .الجدول رقم (6-8) التالي يوضح مقدار التصحيح الواجب اضافته جبريا الى كل من الإحداثيين السيني والصادي الأولين (Preliminary X and Y Coord.) لكل نقطة محسوبة من نقاط المضلع . كذلك يوضح الجدول الإحداثيات السينية والصادية النهائية لهذه النقاط (عبارة عن الإحداثيات الأولية ،X و Y، مضافا اليها جبريا التصحيحات المحسوبة لكل نقطة ، i ، وهما : (C_{Xi}) و (C_{yi}).

جدول رقم -8-6- الإحداثيات النهائية (X'_i, Y'_i)

المحطة (Station)	المسافة التراكمية (Cumulative Distance) L_i (m)	الإحداثيات السينية X - Coordinates: الأولي (Preliminary) X_i (m)	التصحيح (Correction) $(CX_i=-(\varepsilon_x/D)L_i)$ (m)	النهائي (Final) $(X'_i=X_i+CX_i)$ (m)	الإحداثيات الصادية Y - Coordinates: الأولي (Preliminary) Y_i (m)	التصحيح (Correction) $(CY_i=-(\varepsilon_Y/D)L_i)$ (m)	النهائي (Final) $(Y'_i=Y_i+CY_i)$ (m)
A_2	000.000	1748.552	0.000	1748.552	5051.688	0.000	5051.688
1	028.830	1772.591	0.005	1772.596	5035.773	0.002	5035.775
2	181.356	1762.164	0.029	1762.193	5187.942	0.012	5187.954
3	404.760	1764.175	0.065	1764.240	5411.337	0.026	5411.363
4	522.918	1705.244	0.083	1705.327	5513.750	0.034	5513.784
5	823.031	1580.227	0.131	1580.358	5786.584	0.053	5786.63
6	1097.378	1449.520	0.175	1449.695	6027.793	0.071	6027.864
7	1465.898	1300.969	0.234	1301.203	6365.045	0.094	6365.139
8	1712.113	1062.928	0.273	1063.201	6427.985	0.110	6428.095
A_{10}	1851.038	1196.654	0.295	1196.949	6390.336	0.119	6390.455

X'_i : الإحداثي السيني النهائي

Y'_i : الإحداثي الصادي النهائي

D : مجموع أطوال أضلاع المضلع بين نقطة البداية المعلومة (A_2) ولنهاية المحطة النهائية المعتبرة (A_{10}) → 1851.038m

ε_x: $X_{comp.} - X_{known}$ = خطأ الإغلاق السيني في الموقع → -0.295m

ε_y : $Y_{comp.} - Y_{known}$ = خطأ الإغلاق الصادي في الموقع → -0.119m

* Li: (i) المجموع التراكمي لأطوال الأضلاع حتى النقطة المعتبرة

* C_{XI} : (i) التصحيح على الإحداثي السيني الأولي للنقطة المعتبرة

* C_{YI}: (i) التصحيح على الإحداثي الصادي الأولي للنقطة المعتبرة

8- حساب الإحداثيات النهائية (Y'_i) و (X'_i)

تحسب الإحداثيات النهائية (Y'_i) و (X'_i) لكل نقطة من نقاط المضلع المعتبرة باضافة مقدار التصحيح (السيني والصادي) المحسوب لكل من هذه النقاط الى الإحداثي (السيني والصادي) الخاص بكل من هذه النقاط وذلك علىالشكل التالي :

$$X'_i = X_i + C_{Xi}$$
$$Y'_i = Y_i + C_{Yi}$$

9- حساب أطوال (d'_{ij}) وانحرافات (α''_{ij}) أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية

الآن وبعد تصحيح الإحداثيات وحساب الإحداثيات النهائية (X'_i , Y'_i) لأركان المضلع يجري حساب الأطوال والإنحرافات المصححة النهائية استنادا الى الإحداثيات النهائية وذلك على الشكل التالي، انظر الجدول رقم (6 -9) :

$$d'_{ij} = \sqrt{\left(X'_j - X'_i\right)^2 + \left(Y'_j - Y'_i\right)^2}$$
$$\alpha''_{ij} = \tan^{-1}\left(\frac{X'_j - X'_i}{Y'_j - Y'_i}\right)$$

جدول رقم-6 -9- حساب أطوال وانحرافات أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية

المحطة أوالنقطة Station	الضلع Side	الإحداثيات النهائية Final Coordinates		الإنحراف النهائي Final Azimuth			الطول النهائي Final Length
		X'_i	Y'_i		α''_{ij}		d'_{ij}
		(m)	(m)	°	′	″	(m)
A2	-	1748.552	5051.688				
	A2 - 1			123	29	52	28.832
1		1772.596	5035.775				
	1 - 2			356	05	20	152.534
2		1762.193	5187.954				
	2 - 3			0	31	29	223.418
3		1764.240	5411.363				
	3 - 4			330	5	32	118.156
4		1705.327	5513.784				
	4 - 5			335	23	29	300.111
5		1580.358	5786.637				
	5 - 6			331	33	27	274.342
6		1449.695	6027.864				
	6 - 7			336	14	14	368.516
7		1301.203	6365.139				
	7 - 8			284	49	01	246.182
8		1063.201	6428.095				
	8 - A_{10}			105	43	05	138.944
A_{10}		1196.949	6390.455				

6-3-11 حساب المناسيب لرؤوس المضلعات ، [م33][م46][م51]

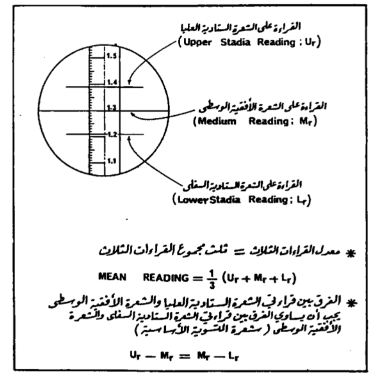
يمكن حساب مناسيب أركان أو ذروات المضلع بطرق ثلاث هي : طريقة التسوية العادية (Ordinary Levelling) والتسوية الدقيقة (Precise Levelling) . بالنسبة للتسوية العادية فهي ليست بالمطبقة أو بالشائعة في تعيين مناسيب رؤوس المضلعات، أمّا طريقة التسوية المثلثية فسيتم شرحها بالتفصيل في الفصل السابع وبالنسبة لطريقة التسوية الدقيقة فهي التي سنشرحها هنا في هذا البند .

6-3-11-1 مبدأ القياس في التسوية الدقيقة :

يتلخص مبدأ القياس في طريقة التسوية الدقيقة بالنقاط الرئيسة التالية :

1 – استخدام جهاز تسوية دقيق (Automatic Geodetic Level) .

2 – استخدام مسطرة بنوعية ممتازة وتدريجات صغيرة وملحقات تسمح بقراءة المسطرة لأقرب مليمتر وربما لأقرب جزء من المائة من المليمتر إضافة إلى مايساعد في ضبط شاقولية المسطرة أثناء رصدها .. الخ .



شكل 6 - 33 القراءة على الشعرات الستادية الثلاث

3 – أخذ ثلاث قراءات عند تقاطع الشعرات الستادية الثلاث مع المسطرة عنـــد كـــل نقطة من النقاط المرصودة واعتماد معدّل القراءات الثلاث، لاحظ الشكل(6- 33).

إن كلمة " الستادية " تعني أنه بالإمكان حساب المسافة الأفقية بين موقع الجـــهاز وموقع المسطرة بضرب فرق القراءتين على شعرتين ستاديتين متتاليتين (الوســـطى والعليا أو الوسطى والسفلى) بثابت خاص بالجهاز كأن يكـــون (50) أو (100) ..الخ. بالطبع هناك فائدة وضرورة لمعرفة المسافة بين موقع الجهاز وموقع المســـطرة وذلك لغايات الحكم على دقة القياسات حيث تـــزداد الدقـــة كلمـــا تســـاوت (وصغرت) مسافات القراءات الأمامية مع مسافات القراءات الخلفية كما ســـيتضح من خلال الأمثلة اللاحقة ومن خلال دراسة جدول المواصفات رقم(6-10) الخاص بمتطلبات التسوية الدقيقة .

جدول 6-10 متطلبات التسوية الدقيقة ([م33])

الشروط والمتطلبات Requirements	المرتبة الثالثة Third Order	المرتبة الثانية Second Order		المرتبة الأولى First Order	
		صنف ثاني Class 2	صنف أول Class 1	صنف ثاني Class 2	صنف أول Class 1
طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة .	90m	70m	60m	60m	50m
الفرق الأعظمي بين مســـافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية عند كل موقع للجهاز.	10m	10m	5m	5m	2m
الفرق الأعظمي بين مجمـــوع مسافات القراءات الأماميـــة ومجموع مسافات القـــراءات الخلفية .	10m	10m	10m	10m	4m
خطأ القفل (Closure Error) الأعظمي في المنسوب.	12mm $\sqrt{k}$	8mm $\sqrt{k}$	6mm $\sqrt{k}$	5mm $\sqrt{k}$	4mm $\sqrt{k}$
نوع جهاز التسوية المستخدم	Geodetic Level	Geodetic Level	Automatic or Tilting	Automatic or Tilting	Automatic or Tilting
نوع المسطرة المستخدمة	Ordinary Leveling Rod	Invar Rod	Invar Rod	Invar Rod	Invar Rod
طريقة القراءة			With Optical Micrometer	With Optical Micrometer	With Optical Micrometer

الجدول (6-11) يوضح طريقة تسجيل القراءات مع ملاحظة أنه بعـــد حســاب واعتماد معدّلات القراءات يجري حساب فروق المناسيب والمناسيب للنقــاط المختلفــة وذلك بنفس أسلوب طريقة التسوية العادية تماماً كما سنوضح ذلك في أمثلة لاحقة .

لحساب فرق المنسوب بين علامة المنسوب الأولى (B.M.1) والأخـــيرة (B.M.2) وفقاً للمعلومات الواردة في الجدول (6-11) ، تجمع القراءات الخلفية بكاملها والقراءات الأمامية بكاملها فيكون فرق المنسوب الدقيق بين علامتي المنســوب (B.M.2, B.M.1) مساوياً للفرق بين مجموعتي القراءات الخلفية والأمامية ، أي أن :

$$R.L.\ of\ B.M.2 - R.L.\ of\ B.M.1 = \Sigma (B.S.) - \Sigma (F.S.)$$

$$R.L.\ of\ B.M.2 - R.L.\ of\ B.M.1 = 7.292 - 8.774 = -1.482\ m$$

وعليه إذا افترضنا أن منسوب الـــ (B.M.1)يساوي (871.652 m)فــإن منســوب الـــ(B.M.1) يساوي :

$$871.652 - 1.482 = 870.170\ m$$

جدول 6 - 11 تسجيل القراءات في طريقة التسوية الدقيقة

B.S. القراءة الخلفية			F.S. القراءة الأمامية		
القراءة على الشعيرات Hairs Readings	القراءة المتوسطة Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Interval	القراءة على الشعيرات Hairs Readings	القراءة المتوسطة Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Interval
B.M. 1 1.984 1.338 0.688 4.010	1.337	0.646 0.650 1.296	3.719 3.027 2.335 9.081	3.027	Point No.A 0.692 0.692 1.384
Point No. A 3.647 2.933 2.218 8.798	2.933	0.714 0.715 1.429	3.410 2.664 1.916 7.990	2.663	Point No.B 0.746 0.748 1.494
Point No. B 3.802 3.021 2.242 9.065	3.022	0.781 0.779 1.560	3.822 3.083 2.348 9.253	3.084	B.M. 2 0.739 0.735 1.474
	7.292	4.285		8.774	4.352

لاحظ في الجدول (6-11) كيف أن الفرق الستادي للقراءة الأمامية يتساوي تقريباً مع الفرق الستادي للقراءة الخلفية بحيث لا تختلف مسافة القراءة الأمامية عن مسافة القراءة الخلفية بأكثر من المسموح به وفقاً للمواصفات المطلوبة وبالرجوع إلى جدول معايير الدقة (الجدول رقم 6-10) . كذلك لاحظ أن يتساوي تقريباً مجموع الفروق الستادية للقراءات الأمامية (4.352) مع مجموع الفروق الستادية للقراءات الخلفية (4.285) بحيث لا يختلف مجموع مسافات القراءات الأمامية عن مجموع مسافات القراءات الخلفية بأكثر من المقدار المنصوص عليه في المواصفات .

6-3-11-2 متطلبات التسوية الدقيقة :

لتحقيق درجة عالية من الدقة ، يراعى أخذ النقاط الأساسية التالية بعين الاعتبار :

1 - أجهزة دقيقة وعناية في الحقل ودقة في الرصد والقياس ومعايرة منتظمة للأجهزة .

2 - طرق رياضية مناسبة لتوزيع الأخطاء المسموح بها .

3 - ضبط يومي (خلال أيام العمل) لجهاز التسوية .

4 - ضبط شاقولية المسطرة عند رصدها وفحص تدريجاتها ومعايرتها بانتظام .

5 - مراقبة مستمرة لفقاعة التسوية عند أخذ القراءات .

6 - مراعاة كافة الشروط الواردة في جدول المواصفات الخاص بمعايير الدقة التي تنسجم مع غايات وأهداف للمشروع المساحي المعتبر .

7 - تسجيل درجة الحرارة ومعلومات عن الريح وكذلك تاريخ ووقت إجراء القياسات.

٨ - حماية جهاز التسوية من تأثيرات الشمس والرياح باستخدام مظلة وتجنب ما أمكن أخذ قراءة أقل من (0.5m) على المسطرة .

9 - تحقيق القياسات بعملية أخرى عكسية يفضل أن يقوم بها مسّاح آخر في وقت آخر وباستخدام جهاز ومساطر مختلفة إن أمكن .

10 – تثبيت الجهاز على أرض صلبة ثابتة في منتصف المسافة تقريباً (± 2 m) بـين موقعي القراءة الأمامية والقراءة الخلفية .

11 – تثبيت المسطرة عند نقاط التحول فوق قاعدة ثابتة صلبة مستوية (منبسطة) مناسبة .

12 – استعمال مساطر جيدة النوعية تقاوم تغيرات الحرارة والرطوبة كمسطرة الأنفار على سبيل المثال (Invar Levelling Staff).

3-11-3-6 ملاحظات عامة حول أعمال التسوية ، [م11] [م18] [م19] [م22] [م51]

نذكر فيما يلي بعضاً من الاعتبارات الأساسية التي ينصح بمراعاتها في معظم أعمال التسوية :

1 – يفضل في حالة التسوية العادية ، أن لا تزيد المسافة بين الجهاز والمسطرة عن مئة متر وأن لاتتجاوز الخمسين متراً في أعمال التسوية الدقيقة .

2 – لمزيد من الدقة في تعيين فرق المنسوب بين نقطتين ، ينصح بوضع جهاز التسوية في منتصف المسافة بين هاتين النقطتين (أي في منتصف المسافة بـين النقطـة ذات القراءة الخلفية(مؤخرة) والنقطة ذات القراءة الأمامية (مقدمة) التـابعتين لنفـس موقع الجهاز). كما ذكرنا آنفاً ، أن وضع الجهاز في منتصف المسافة بين نقطـتي القراءة الأمامية والقراءة الخلفية يساعد في التخلص من الخطأ الناشيء عن عـدم أفقية خط النظر والخطأ الناشيء عن انكسار الأشعة(نتيجة مرورها عبر طبقـات هوائية مختلفة الكثافة) والخطأ الناشيء عن انحناء سطح الأرض.

3 – من الضروري مسك المسطرة بشكل رأسي وكذلك تطبيق صورة الشعيرات على صورة المسطرة تماماً بحيث لا يحصل اهتزاز في صورة الشعيرات عند تحريك العين.

4 – تأكد من صحة تدريجات المسطرة قبل الاستعمال وخاصة قرب المفاصل في حالة المساطر متعددة القطع . كذلك تأكد إن كانت المسطرة مقلوبـة (Inverted) أو معتدلة .

5 – يجب التقيد بكتابة القراءات المختلفة في أماكنها الصحيحة والتأكد من صحتها بأن يرددها مسجل القراءات (Note Keeper or Booker) في أثناء كتابتـــها علـــى مسمع من الراصد وهو لا يزال في وضع الرصد على المنظار .

6 – حيـــث أن معظم أجهزة التسوية تحتوي بالإضافة إلى الشعرة الأفقية الأساســـية على شعرتين ستاديتين أفقيتين (لتقدير المسافة بين الجهاز والمسطرة) لذا، يجـــب الانتباه إلى عدم أخذ القراءة على أحد هاتين الشعرتين وإنما على الشعرة الوسطى.

7 – تأكد من حساسية وفعالية فقاعة التسوية قبل البدء في العمل .

8 – من الضروري مراعاة أن تكون فقاعة التسوية وسط مجراهـــا (أو بـــالأحرى أن يكون خط النظر أفقياً) عند رصد المسطرة أو أخذ القراءة وذلك في كل نقطة من النقاط المشمولة في عملية التسوية . وللتأكد من ذلك يجري التحقق من وضـــع الفقاعة قبل وبعد أخذ كل قراءة .

9 – لا تحرك الجهاز إلا بعد أخذ قراءة أمامية (على نقطة تحول أو نقطة نهاية المشروع) ولا تحرك المسطرة إلا بعد أخذ قراءة خلفية (عن علامة منسوب ثابتة أو نقطـــة تحول).

10 – في أعمال التسوية الدقيقة وفي الحالات التي تكون فيها خطوط النظـــر طويلـــة، ينصح باتباع طريقة التسوية العكسية إذا لم يكن بالإمكان وضع الجهاز في وسط المسافة بين كل نقطتين مشمولتين في عملية التسوية .

11 – لا يجب بحال من الأحوال السماح باهتزاز جهاز التسوية أو حركـــة الركـــيزة (حامل الجهاز). من هنا يجب تثبيت الركيزة (Tripod) بشكـــل جيـــد وعـــدم الاحتكاك بالجهاز ولا بالركيزة أثناء عملية الرصد .

12 - يجب أن يكون موقع المسطرة في نقاط التحول ثابتا بحيث لا ينخفض أو يعلو منسوب قاعدة المسطرة عند تدويرها لتواجه الجهاز في موقعه الجديد، باختصار يجب اختيار مواقع مستوية وثابتة وصلبة لنقاط التحول .

13 - لا ينصح القيام بأعمال التسوية الدقيقة في الأيام التي يسودها ريح شديدة حيث تسبب هذه اهتزازات في المسطرة والجهاز . في الحالات الاضطرارية ينصح بحماية الجهاز وباستعمال مسطرة قصيرة وكذلك القراءة على المسطرة من مسافات قصيرة.

14 - في أوقات الحر الشديد ، ضع فوق الجهاز مظلة مناسبة ولا تأخذ قراءات على المسطرة من مسافات بعيدة، وكذا حاول أن تكون القراءات على المسطرة أكبر من 0.5m للتقليل من تأثير انكسار الأشعة. لا تجعل العدسة الشيئية في مواجهة الشمس إذ يصعب عندها الرصد .

15 - لتجنب تراكم قطرات الماء على العدستين الشيئية والعينية في فصل الشتاء ، يفضل القيام بأعمال التسوية أما في الأوقات الصحوة أو ، إذا كان لابد من العمل في جو ماطر ، تلبيس العدستين بمظلات أو أدوات واقية ووضع مظلة فوق الجهاز . إن أعمال الوقاية هذه تساعد على تحقيق الوضوح في عملية الرصد.

16 - إذا كان مستخدم الجهاز حديث الخبرة ، ينصح بأخذ القراءة عند تقاطع المسطرة مع كل من الشعرتين الستاديتين القصيرتين الأفقيتين (الواقعتين أعلى وأسفل شعرة التسوية الوسطى الأفقية) بالإضافة إلى القراءة عند تقاطع المسطرة مع شعرة التسوية (الشعرة الوسطى الأفقية). كتحقيق ، يجب أن يكون الفرق بين القراءتين على الشعرتين الأفقيتين الوسطى والعلوية مساويا للفرق بين القراءتين على الشعرتين الوسطى والسفلى ، أو أن تكون قراءة شعرة التسوية مساوية لنصف مجموع قراءتي الشعرتين الستاديتين العلوية والسفلية . على سبيل المثال، إذا كانت قراءة الشعرة الستادية العلوية 1.46 m وقراءة الشعرة الستادية السفلية 1.42 m فيجب أن تكون قراءة شعرة التسوية الوسطى الأفقية :

$$\frac{1.46+1.42}{2}=1.44\,m$$

17 - تؤثر الشمس الحارة في مادة المسطرة وبالتالي في تدريجاتها كما تؤثر في فقاعة التسوية وفي انحناء سطح أنبوب التسوية المغلف أو الحاوي للفقاعة.

18 - في أعمال التسوية العادية وحيث يقتصر الأمر على مساحات محدودة ، لاداعي لأخذ انحناء الأرض وانكسار الأشعة بعين الاعتبار نظرا لصغر القيمة الناتجة عنهما.

19 - بعض أجهزة المساحة مزودة بدائرة لقياس الزاوية الأفقية التي يصنعها خط النظر مع خط مرجعي معين . إن هذا يساعد على تحديد مواقع النقاط التي يجري تعيين مناسيبها. فالشعيرات الستادية تؤدي دور قياس المسافات (بضرب الفرق بين قراءتي الشعرتين الستاديتين العليا والسفلى في ثابت محدد يتبع نوع الجهاز) بين الجهاز والمسطرة التي يجري تثبيتها في مختلف النقاط ، وبمعرفة الزاوية الأفقية التي يصنعها خط النظر (ما بين الجهاز والمسطرة) مع خط مرجعي معين يمكن تحديد موقع المسطرة أو النقطة التي تقف عليها المسطرة.على أي حال ، إن دقة أجهزة التسوية في قياس الزوايا الأفقية منخفضة (بحدود دقيقة واحدة) إذا ما قورنت بدقة أجهزة الثيودوليت التي قد تصل إلى جزء بسيط من الثانية وهذا بالطبع شيء متوقع فجهاز التسوية مصنوع بشكل خاص لخدمة أغراض قياس المناسيب وفروقها بينما الثيودوليت مصنوع بشكل خاص لقياس الزوايا الأفقية والرأسية .

20 - يفضل دائما أن تبدأ عملية التسوية بالقراءة على علامة منسوب ثابتة (معلومة الارتفاع) وتنتهي بالقراءة أيضا على علامة منسوب ثابتة .

21 - يجب التأكد من صحة علامة أو علامات المناسيب الثابتة المستعان بها في عملية التسوية . كما يجب أن يكون الكروكي الموضح لعلامة المنسوب سهلا دقيقا كي لا يحصل التباس في التعرف عليها .

22 – إن أول قراءة يجب أن تدخل حدول التسوية هي خلفية وآخر قراءة أمامية .

٢٣ – يفضل التزود بالأدوات التالية إلى جانب للسطرة وجهاز التسوية : شريط، شواخص ، شمسية ، مسامير ، أوتاد ، قضبان حديدية قصيرة (20-40 cm)، زوايا حديدية ، مطارق للدق ، دهان وطباشير ملونة ، دفتر مسطر يناسب أعمال التسوية ، أدوات رسم بسيطة ، أقلام ، وآلة حاسبة الكترونية صغيرة.

24 – ينصح بتخصيص دفتر مناسب لأعمال التسوية يسطر بسطور أفقية وعمودية لتسجيل أرقام النقاط ومختلف القراءات اللازمة لمعرفة ارتفاعات النقاط وللمسافات الأفقية بينها . إن الدفتر يسهل عملية التدوين ويساعد على تجنب الأخطاء الكتابية إلى حد كبير كما يعتبر سجلا يمكن الاحتفاظ به مستقبلا لأغراض التدقيق والاستعانة بما فيه من ملاحظات حقلية .

25 – إضافة إلى علامات المناسيب الرئيسة ذات الارتفاعات الدقيقة جدا هناك ثلاثة أشكال أخرى لعلامات المناسيب وهي :

* علامات المناسيب الثانوية التي تنشأ بين النقاط الرئيسة وتكون ثابتة ودائمة أيضا . من المواقع التي تصلح لإنشاء مثل هذا النوع من النقاط، أجنحة وجدران العبارات والجسور البارزة وأعمدة مداخل الأبنية والأسوار. يراعى دائما أن تكون سطوح علامات المناسيب مستوية حتى لا يتغير منسوب قاعدة المسطرة عندما يجري توجيه أو تدوير المسطرة .

* علامات المناسيب العشوائية وهذه نقاط تفترض ارتفاعاتها بالنسبة لمستوى مرجعي وهمي ويستعان بها لقياس مناسيب النقاط المختلفة من مشاريع محلية محدودة وصغيرة .

* علامات المناسيب المؤقتة وهذه نقاط يجري قياس ارتفاعها في نهاية العمل اليومي حيث يستعان بها عند تكملة العمل في وقت لاحق . على كل حال يجب أن تحدد هذه النقاط بشكل جيد وعلى مواقع ثابتة .

26 – لا تنس فحص جهاز التسوية وضبطه قبل البدء بعملية قياس الارتفاعات .

27 – الانتباه والترتيب والتنظيم والوضوح وتوفير عناصـــر التحقيق هي أســـاس كـــل عمل متقن .

4-11-3-6 مصادر الأخطاء في أعمال التسوية ؛[م24] [م43] [م47] [م48] [م49] [م51]

من المهام الأساسية التي يتوجب على المساح إنجازها معرفة مصادر الأخطاء في العمليات المساحية ومن ثم تصحيحها . من بين مصادر الأخطـــاء الرئيســـة في أعمـــال التسوية نذكر :

1 – عدم دقة الأجهزة المستخدمة في عمليات القياس كجهاز التسوية والمسطرة .

2 – انحناء الأرض وانكسار الأشعة (Earth Curvature and Refraction) وخاصـــة عندما تختلف مسافات القراءات الأمامية عن مسافات القراءات الخلفية. إن هـــذا الخطأ يظهر بوضوح عندما تكون أطوال خطوط النظر أو القياس طويلة حيـــث تتراكم الأخطاء الصغيرة في النهاية .

3 – التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة نتيجة التقلبات الجوية وينشأ عن هذا تمـــدد أجزاء الأجهزة أو تقلصها وبالتالي خطأ في القراءة . كذلك فإن حر الشمس يؤثر في أجزاء الجهاز المختلفة بدرجات متفاوتة .

4 – عدم أفقية أنبوب التسوية وبالتالي عدم أفقية خط النظر للجهاز .

5 – عدم ثبات حامل الجهاز وما ينشأ عنه من اختلاف في منسوب خط النظر أثنـــاء أخذ القراءات .

6 – عدم شاقولية المسطرة .

7 – تبديل المسطرة بأخرى أثناء عملية القياس (إذ ربما تتفاوتان في الدقة).

8 – وجود السراب حيـــث تحصل انعكاسات ضوئية يصعب عندها ملاحظة الهـــدف أو المسطرة بوضوح مما يودي إلى خطأ في القراءة .

9 – تبديل راصد بآخر حيث كل راصد لــه أسلوبه الخاص في تقدير قراءة المســـطرة وفي الحكم على وضع فقاعة التسوية في وسط مجراها .

10 – عدم الدقة في قراءة المسطرة أو القراءة في اتجاه خاطىء .

11 – عدم ثبات أو صلابة مواقع نقاط التحول .

12 – زوغان البصر أثناء القراءة .

13 – العمل في جوي سيء من حيث الطقس (رياح ، حرارة ، رطوبة، ... الخ).

14 – التسجيل الخاطىء للقراءات في جدول التسوية .

15 – الضغط على الجهاز أو الاحتكاك به أو بالركيزة .

16 – العمل في حالة من التعب الشديد أو المرض وخاصة مرض أو تعب العيون .

17 – الإهمال وعدم الانتباه .

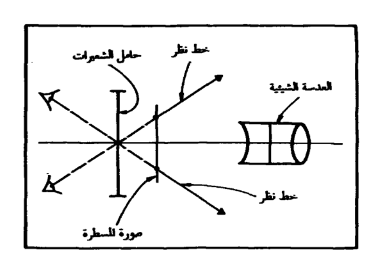
18 – عدم توفر الخبرة وكذلك عدم وضوح الغاية ودرجة الدقة المطلوبة من العمليـــة المساحية .

19 – استخدام علامة منسوب خاطئة أو غير دقيقة أو قلقة متغيرة .

20 – عدم الدقة في التركيز البؤري للعدسة الشيئية حيث ينشأ عن ذلـــك اهـــتزاز أو حركة ظاهرية في صورة الشعيرات بالنسبة لصورة المسطرة كلما تحركت عـــين الراصد للأعلى وللأسفل . وعليه لن تكون هناك قراءة ثابتة على المسطرة، شكل (6 - 34) .

21 – تبديل القراءات الخلفية بالأمامية أو العكس .

22 – عدم الدقة في العمليات الحسابية .



شكل 6 - 34 التركيز البؤري الخاطىء للعدسة الشيئية

6-3-11 - 5 التحقق من صحة المناسيب :

يمكن إتباع أحد الأسلوبين التاليين لغايات التحقق من صحة للناسيب المحسوبة بطريقة ارتفاع الجهاز (Height of Instrument) أو بطريقة العلو والانخفاض (Rise and Fall Method) :

1 - نتابع العمل بعد الانتهاء من أخذ القراءات على مجموعة النقاط للمراد تعيين مناسيبها إلى أن نصل إلى علامة منسوب ثانية جديدة وقريبة من منطقة العمل فنأخذ عنها قراءة أمامية (لأنها ستكون آخر نقطة مشمولة في عملية التسوية) ونحسب منسوبها . الآن نقارن بين للنسوب المحسوب والمنسوب للعلوم لعلامة للنسوب الجديدة هذه . إن الفرق بين للسنوبين يعبر عن دقة للناسيب المحسوبة ويساوي أيضا مقدار الخطأ في عملية التسوية .

ملحوظة :

إن عدم تطابق المنسوب المحسوب مع المنسوب المعلوم لعلامة المنسوب المختارة لعملية التحقيق لا يعني بالضرورة وجود خطأ في عملية قياس المناسيب إذ ربما يكون قد حصل هبوط في موقع علامة المنسوب الأولى أو في موقع علامة المنسوب الثانية (المختارة). كذلك قد تكون المناسيب المعطاة لهاتين العلامتين الثابتتين غير صحيحة أو دقيقة .

2 – نتابع عملية التسوية بعد الانتهاء من النقطة الأخيرة من مجموعة النقاط المراد تعيين ارتفاعاتها إلى أن نعود بأقصر الطرق إلى نفس علامة المنسوب التي ابتدأنا منها العمل. نجمع القراءات الخلفية والقراءات الأمامية من بداية العمل حتى نهايته ونحسب الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القراءات الأمامية . إن هذا الفرق يعبر عن درجة الدقة في عملية التسوية . لاحظ أنه سيكون لعلامة المنسوب هذه قراءتان ، خلفية عند بداية العمل وأمامية عند نهاية العمل .

ملحوظات :

- إذا تطابق المنسوب المعلوم مع المنسوب المحسوب لعلامة المنسوب الثابتة (Bench Mark) فيعني هذا أنه لا يوجد خطأ .

- إن مقدار الاختلاف بين المنسوب المحسوب والمنسوب المعلوم (مقدار الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القراءات الأمامية في حالة الطريقة 2) يساوي مقدار الخطأ في عملية التسوية المنجزة .

- للوصول إلى علامة منسوب ثانية (لغرض التحقيق) أو للعودة إلى علامة المنسوب الأولى، قد يلزم اختيار نقطة تحول جديدة أو أكثر وذلك بسبب طول المسافة أو وعورة منطقة العمل . في هذه الحالة تكون المسافة بين الجهاز والمسطرة فوق نقطة التحول المختارة طويلة نسبيا ولكن تراعي دائما أن يكون موقع الجهاز في منتصف المسافة تقريبا بين كل زوج متتال من نقاط التحول أو بالأحرى في منتصف المسافة بين النقطة ذات القراءة الخلفية والنقطة ذات القراءة الأمامية .

• في عملية التحقيق، سواء بالاستعانة بعلامة منسوب ثانية قريبة أو بالعودة إلى علامة المنسوب الأولى نفسها، لا يحتاج الأمر إلى تعيين مناسيب نقاط خاصة محددة أو معرفة تضاريس الأرض وإنما يتطلب الأمر فقط تعيين مناسيب نقاط تحول مناسبة لغرض الوصول بسرعة إلى علامة المنسوب الثانية أو علامة المنسوب الأولى. لذلك تكون القراءات الضرورية لعملية التحقيق أمامية وخلفية فقط ويطلق عليها بالقراءات أو للمناسيب الطائرة (Flying Levels) .

• يفضل اعتماد طريقة التحقيق الأولى(1) بدلا من الثانية خصوصا إذا توفرت علامة منسوب على مسافة قريبا نسبيا من موقع نهاية العمل .

6-11-3-6 الخطأ المسموح به في أعمال التسوية ، [م33][م46] [م52]

سنميز هنا بين نوعين من التسوية ، التسوية العادية (Ordinary Levelling) والتسوية الدقيقة (Precise Levelling) .

1 – التسوية العادية :

يقع الخطأ المسوح به في أعمال التسوية العادية ضمن المجال :

$$\pm 12\sqrt{k}\ mm - \pm 25\sqrt{k}\ mm$$

حيث K ترمز إلى المسافة الكلية الداخلة في عملية التسوية ، بالكيلومتر.

2 – التسوية الدقيقة :

يقع الخطأ المسموح به في أعمال التسوية الدقيقة ضمن المجال :

$$\pm 4\sqrt{k}\ mm - \pm 12\sqrt{k}\ mm$$

ملحوظات :

• إن مجال الخطأ المسموح به المذكور أعلاه ، يتبع نوع الجهاز المستخدم وطبيعة تضاريس سطح الأرض التي يجري فوقها القياس والغاية من عملية التسوية أو بالأحرى درجة الدقة المطلوبة .

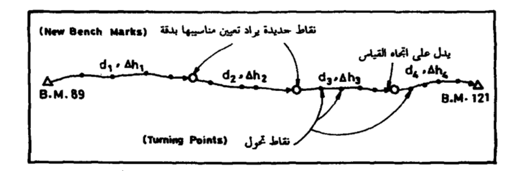
• في أعمال التسوية العادية ، خصوصا في الحالات التي تكون فيها أعمـال التسـوية محصورة ضمن مساحات صغيرة ، يمكن أيضا إتباع المجال التالي للخطأ المسموح به:

$$\pm 5\sqrt{n}\ \text{mm} - \pm 10\sqrt{n}\ \text{mm}$$

حيث n ترمز إلى عدد المحطات التي يحتلها الجهاز خلال عملية القياس لكافة النقـاط المشمولة في عملية التسوية (بما فيها النقاط المتعلقة بعملية التحقيق).

• إذا تبين أن الخطأ يقع ضمن المجال المسموح به فيجري توزيعه على المناسيب المحسوبة لنقاط التحول بشكل يتناسب مع المسافات (كأحد الحلول) وذلك على النحو التالي:

1 - عندما تكون المناسيب الجديدة (المراد تعيينها) واقعة بين علامتي منسوب ثـابتتين ومحددتين في الطبيعة وذات مناسيب معلومة بدقـة ، شكـل (6-35) ، عندهـا نكتب:



شكل 6 - 35

فرق المنسوب (ΔH) المحسوب (أو المقيس) بين علامتي المنسوب عند بداية ونهاية خط المشروع أو العمل = الفرق بين مجموع القراءات الخلفية ومجموع القـــراءات الأمامية أي :

$$\text{Measured Elevation Difference} = \left(\sum(B.S)\right) - \left(\sum(F.S)\right) \ldots\ldots\ldots (32-6)$$

خطأ القفل (مجموع الخطأ الحاصل في عملية التسوية المنجزة -Closure Error) ، يساوي فرق المنسوب المحسوب أو المقيس – فرق المنسوب المعلوم ، أي :

$$\text{Closure Error } (\varepsilon) = (\text{Measured } \Delta H) - (\text{Known } \Delta H) \ldots\ldots\ldots (33-6)$$

أما مقدار التصحيح للمناسيب المحسوبة أو المقيسة ، شكل (35-6) ، فيساوي:

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{d_i}{\sum d_i}(-\varepsilon) \ldots\ldots\ldots (34-6)$$

كذلك يمكن أيضا التصحيح بإحدى الطريقتين التاليتين :-

1 - بالتساوي وذلك بقسمة الخطأ على عدد الأضلاع ثم يجري تصحيح فرق الارتفاع المحسوب أو المقيس (ΔH) لكل ضلع بنفس المقدار ، أي :

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \left(\frac{-\varepsilon}{n}\right) \ldots\ldots\ldots (35-6)$$

2 - التوزيع بشكل يتناسب مع ناتج قسمة القيمة المطلقة لفرق الارتفاع المحسوب بين نهايتي كل ضلع على مجموع القيم المطلقة لفروق الارتفاعات الجزئية المحســـوبة، أي :

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{|\Delta h_i|}{\sum |\Delta h_i|}(-\varepsilon) \ldots\ldots\ldots (36-6)$$

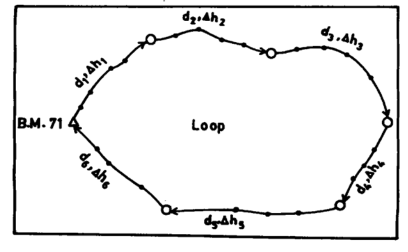
ب – عندما تكون المناسيب الجديدة واقعة على خط مغلق ، أي تبتدىء وتنتهي بعلامة منسوب معلومة وحيدة (Loop) ، شكل (6 - 36) ، فيجب عندها تحقيق الشرط التالي :

$$\sum \Delta h_i = o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (37\text{-}6)$$

$$\text{Correction for } \Delta h_i = \frac{d_i}{\sum d_i}(-\varepsilon) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (38-6)$$

إن خطأ القفل هنا (ε) يساوي المجموع الجبري لفروق الارتفاعات المقاسة على كامل الخط المغلق أي يساوي ($\sum\Delta h_i$) .

إذا تعدى الخطأ المجال المسموح فيجب إعادة القياسات بطريقة ووسائل أكثر دقة وإذا كان الخطأ صغيرا ولا يؤثر في مناسيب النقاط المختلفة فيمكن إهماله وعدم توزيعه .



شكل 6 - 36

مثال 6 - 12 :

مستعينا بالجدول رقم (6-12) ، المطلوب إنجاز العمليات التالية ، علما بأن ثابت الجهاز (الثابت الستادي أو التاكيومتري) يساوي (50) :

أ - ارسم كروكي يبين أرقام النقاط الواردة في الجدول (6 - 12) ورموز فروق الارتفاعات (Δh_i) والمسافات (d_i) بين أزواج النقاط المتجاورة جميعها .

ب - بمعلومية منسوب النقطة (B.M.72) المساوي <u>927.645m</u> ومنسوب النقطة (B.M.74) المساوي <u>925.854m</u> ، وبافتراض أن خطأ القفل يقع ضمن المجال المسموح به ، جد :

المنسوب المصحح النهائي لكل من النقاط الجديدة (N1, N2 , N3) موضحا جميع الحسابات بشكل جيد ومنظما النتائج وطرق الحساب (ما أمكن) في جداول مناسبة .

ج - جد مقدار خطأ القفل الأعظمي (في المنسوب) المسموح به إذا كانت المواصفات تنص على تسوية دقيقة من المرتبة الثانية (Second Order) صنف أول (Class 1).

د - ما هو مقدار الفرق الأعظمي بين مجموع مسافات القراءات الأمامية ومجموع مسافات القراءات الخلفية ؟ هل يسمح بمقدار هذا الفرق لهذا النوع من المواصفات الواردة في البند (ج) أعلاه ؟

هـ - ما هو مقدار الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية عند كل موقع للجهاز ؟ وهل يسمح به ؟

و - ماهو مقدار طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة ؟ وهل يسمح به ؟

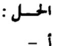
ملحوظة : يمكن الرجوع إلى الجدول (6-10) بخصوص معايير الدقة .

جدول رقم 6 - 12 مثال رقم 6 - 12

القراءة الخلفية B.S (m)	القراءة الأمامية .F.S (m)
B.M. 72	T_1
1.784	3.519
1.138	2.827
0.488	2.135
T_1	T_2
3.447	3.210
2.733	2.464
2.018	1.716
T_2	T_3
3.602	3.622
2.821	2.883
2.042	2.148
T_3	N_1
2.446	2.210
1.732	1.464
1.017	0.716
N_1	T_4
1.440	2.621
0.731	1.882
0.016	1.147

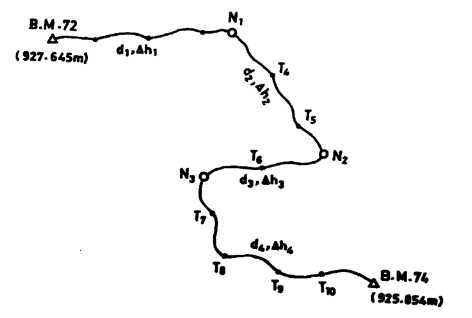
القراءة الخلفية B.S (m)	القراءة الأمامية F.S. (m)
T_4	T_5
2.785	2.517
2.139	1.825
1.489	1.133
T_5	N_2
1.682	1.518
1.036	0.826
0.386	0.134
N_2	T_6
3.785	1.484
3.139	0.838
2.489	0.188
T_6	N_3
3.085	3.484
2.439	2.838
1.789	2.188
N_3	T_7
2.083	2.485
1.437	1.839
0.787	1.189
T_7	T_8
2.991	3.684
2.637	3.039
2.285	2.389

القراءة الخلفية B.S (m)	القراءة الأمامية F.S. (m)
T8	T9
2.246	3.810
1.532	3.064
0.817	2.316
T9	T10
3.150	2.140
2.751	1.741
2.352	1.342
T10	B.M. 74
1.130	1.640
0.731	1.241
0.332	0.842



الحـــل :

أ -



ب – من الشبكة الموضحة في البند (أ) أعلاه ، لدينا ، انظر الجدول (6-13) :

Δh_i =R.L. of Last Point - R.L. of First Point

$\Delta h_i = \sum$ (Back Sights) - $\sum$ (Fore Sights)

$\Delta h_1 = (1.137 + 2.733 + 2.822 + 1.732) - (2.827 + 2.463 +$
$+ 2.884 + 1.463) = - 1.213m$

$\Delta h_2 = (0.729 + 2.138 + 1.035) - (1.883 + 1.825 +$
$+ 0.826) = - 0.632$ m

$\Delta h_3 = (3.138 + 2.438) - (0.837 + 2.837) = + 1.902$ m

$\Delta h_4 = (1.436 + 2.638 + 1.532 + 2.751 + 0.731) -$
$(1.838 + 3.037 + 3.063 + 1.741 + 1.241) = - 1.832$ m

$d_1 = (1.296 + 1.384 + 1.429 + 1.494 + 1.560 + 1.474 + 1.429 + 1.494)$
$\times 50 = 578$ m

$d_2 = (1.424 + 1.474 + 1.296 + 1.384 + 1.296 + 1.384) \times 50$

$d_2 = 412.9$ m

$d_3 = (1.296 + 1.296 + 1.296 + 1.296) \times 50 = 259.2$ m

d4 $= (1.296 + 1.296 + 0.706 + 1.295 + 1.429 + 1.494 + 0.798 +$
$+ 0.798 + 0.798 + 0.798 = 535.4$ m

ومن الجدول (6 - 14) :

Computed Elevation for B.M. 74 = (927.645) - 1.775 = 925.870 m

Known Elevation for B.M. 74 = 925.854 m

Closure Error (ε) = Comp. (ΔH) - Known (ΔH)

(ε) = 925.870 - 925.854 = 0.016 m

جدول رقم 6-13 – مثال رقم 6 - 12

القراءة الخلفية B.S.			القراءة الأمامية F.S.		
القراءة على الشعيرات Hairs Reading	معدل القراءات الثلاث Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Intrval	القراءة على الشعيرات Hairs Reading	القراءة المتوسطة Mean Reading	فرق الستادي Stadia Intrval
B.M. 72			T_1		
1.784 1.138 0.488	1.137	0.646 0.650 1.296	3.519 2.827 2.135	2.827	0.692 0.692 1.384
T_1			T_2		
3.447 2.733 2.018	2.733	0.714 0.715 1.429	3.210 2.464 1.716	2.463	0.746 0.748 1.494
T_2			T_3		
3.602 2.821 2.042	2.822	0.781 0.779 1.560	3.622 2.833 2.148	2.884	0:739 0.735 1.474
T_3			N_1		
2.446 0.732 1.017	1.732	0.714 0.715 1.429	2.210 1.464 0.716	1.463	0.746 0.748 1.494
N_1			T_4		
1.440 0.731 0.016	0.729	0.709 0.715 1.424	2.621 1.882 1.147	1.883	0.739 0.735 1.474
T_4			T_5		
2.785 2.139 1.489	2.138	0.646 0.650 1.296	2.517 1.825 1.133	1.825	0.692 0.692 1.384

B.S. القراءة الخلفية			F.S. القراءة الأمامية		
القراءة على الشعيرات Hairs Reading	معدل القراءات الثلاث Mean Reading	الفرق الستادي Stadia Intrval	القراءة على الشعيرات Hairs Reading	القراءة المتوسطة Mean Reading	فرق الستادي Stadia Intrval
T_5 1.682 1.036 0.386	1.035	0.646 0.650 1.296	N_2 1.518 0.826 0.134	0.826	0.692 0.692 1.384
N_2 3.785 3.139 2.489	3.138	0.646 0.650 1.296	T_6 1.484 0.838 0.188	0.837	0.646 0.650 1.296
T_6 3.085 2.439 1.789	2.438	0.646 0.650 1.296	N_3 3.484 2.838 2.188	2.837	0.646 0.650 1.296
N_3 2.083 1.437 0.787	1.436	0.646 0.650 1.296	T_7 2.485 1.839 1.189	1.838	0.646 0.650 1.296
T_7 2.991 2.637 2.285	2.638	0.354 0.352 0.706	T_8 3.684 3.039 2.389	3.037	0.645 0.650 1.295
T_8 2.246 1.532 0.817	1.532	0.714 0.715 1.429	T_9 3.810 3.064 2.316	3.063	0.746 0.748 1.494
T_9 3.150 2.751 2.352	2.751	0.399 0.399 0.798	T_{10} 2.140 1.741 1.342	1.741	0.399 0.399 0.798
T_{10} 1.130 0.731 0.332	0.731	0.399 0.399 0.798	BM .74 1.640 1.241 0.842	1.241	0.399 0.399 0.798

جدول رقم 6 - 14 مثال رقم 6 - 12

المنسوب المصحح Elevation (m)	فرق الارتفاع المصحح Adjusted Δh (m)	التصحيح Correction (m)	مسافات خطوط النظر (m)	فرق الارتفاع Measured Δh (m)	رقم النقطة Point No.
927.645	–	–	–	–	BM . 72
	- 1.218	- 0.005	578	- 1.213	
926.427	- - -	- -	- - -	- - -	N_1 - -
	-0.636	-0.004	412.9	- 0.632	
925.791	- - -	- -	- - -	- - -	N_2 - -
	+ 1.900	- 0.002	259.2	+ 1.902	
927.691	- - -	- -	- - -	- - -	N_3 - -
	- 1.837	- 0.005	535.4	- 1.832	
925.854	- - -	- -	- - -	- - -	BM. 74
	- 1.91	- 0.016	1785.5	- 1.775	Σ=

جـ - خطأ القفل الأعظمي في المنسوب :

من الجدول (6-10) وبملاحظة مواصفات المرتبة الثانية ، صنف أول ، :

$$\text{Max. Closure Error} = 6\text{mm}\sqrt{k} = 6\text{mm}\sqrt{1.875} = 8\text{mm}$$

د - مجموع مسافات القراءات الخلفية = 17.349 × 50

مجموع مسافات القراءات الأمامية = 18.391 × 50

الفرق الأعظمي بين المجموعين يساوي :

$(18.391 - 17.349) \times 50 = 52.1$ m

وهذا وفق الجدول (6 - 10) وللمرتبة الثانية صنف أول غير مسموح به .

هـ - الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الأمامية ومسافة القراءة الخلفية هـو الحاصل بسبب موقع الجهاز بين نقطتي التحول (T_7) و (T_8) حيث القراءة الخلفية على (T_7) تساوي (0.706) بينما الفرق التسادي على (T_8) يساوي (1.295) وعليه يكون الفرق الأعظمي بين المسافتين مساويا :

$$(1.295 - 0.706) \times 50 = 29.45 \text{ m}$$

وهذا غير مسموح به حيث يتجاوز (5 m) ، لاحظ جدول المواصفات (6-10) للمرتبة الثانية ، صنف أول .

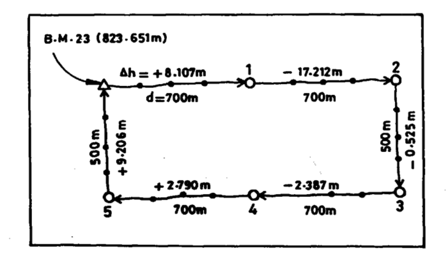
و - طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة هو الخاص بالقراءة الخلفية على نقطة التحول (T_2) ومقداره :

$$1.560 \times 50 = 78 \text{ m}$$

وهذا خارج المجال المسموح به ،(60 m) للمرتبة الثانية صنف أول .

مثال رقم 6 - 13 ، [م33][م51]

بالاستعانة بالشكل (6 - 37) احسب المناسيب الصحيحة للنقاط الجديدة (1,2,3,4,5) .



شكل 6 - 37

الحـــل :

انظر كافة الخطوات والأرقام الواردة في الجدول رقم (6 - 15) التالي حيث يسهل معرفة كيف تم حساب مختلف القيم المطلوبة مع ملاحظة أن الاختلاف البسيط الحـــاصل بعد إدخال التصحيحات اللازمة على مختلف القيم يعود إلى عمليات التقريب الحســـابي وهو هنا (0.001 m).

جدول رقم 6 - 15 مثال رقم 6 - 13

رقم النقطة Point No.	فرق الارتفاع Measured Δh (m)	التصحيح Correction (m)	فرق الارتفاع المصحح Adjusted Δh (m)	المنسوب المصحح Elevation (m)
RM . 23	-	-	-	823.651
	+ 8.107	+ 0.004	+ 8.111	
1	- - -	- -	- - -	831.762
	- 17.212	+ 0.004	- 17.208	
2	- - -	- -	- - -	814.554
	- 0.525	+ 0.003	- 0.522	
3	- - -	- -	- - -	814.032
	- 2.387	+ 0.004	- 2.383	
4	- - -	- -	- - -	811.649
	+ 2.790	+ 0.004	+ 2.794	
5	- - -	- -	- - -	814.443
	+ 9.206	+ 0.003	+ 9.209	
B.M. 23				823.652
	ΣΔhi =-0.021	+ 0.022	+ 0.001	

6 - 3 - 12 العلامات الممثلة لنقاط المثلثات والمضلعات في الطبيعة :

(Survey Monuments , Station Markers)

من الضروري التأكد من ثبات وديمومة العلامات التي يجري اختيارها أو تجسيدها وإظهارها في الطبيعة كنقاط مثلثات أو مضلعات . ذلك بالنظر لأهمية الأعمال المساحية الأخرى التي ستستند إلى هذه النقاط . إن كل خطأ ناتج عن إزاحة في مواقع هذه النقاط أو عدم الدقة في تمييزها من غيرها سوف ينتقل حتما إلى كل عمل مساحي لاحق يصار إلى ربطه بأي من النقاط المزاحة أو الخاطئة . من أجل ذلك ينصح بأخذ الملاحظات التالية بعين الاعتبار عند إنشاء شبكات المثلثات وللمضلعات ومختلف النقاط المساحية المرجعية .

1 - أن تكون مواقع هذه النقاط مشرفة بحيث يمكن رؤية أكبر عدد من النقاط من أي منها .

2 - أن تكون إما نقطة من معلم بارز هام (برج ، مسجد ، كنيسة ... الخ) أو أن تنشأ في أرض صلبة مرتفعة بعيدة ما أمكن عن مواقع حركة الآليات الثقيلة أو التيارات المائية أو الانزلاقات الناشئة عن ضعف في التربة أو قوى دفع جانبية ورأسية معينة (تسبب في حدوث انهيارات وإزاحات في اتجاهات مختلفة). من بين العلامات التي يمكن اختيارها أو غرسها نورد الأمثلة التالية :

أ - مسمار أو برغي (Bolt) من برج (Tower) عالي وثابت .

ب - وتد فولاذي (Steel Peg) محاطا بما يحميه .

ج - مسمار أو برغي مغروس في حائط بناء (House Wall) .

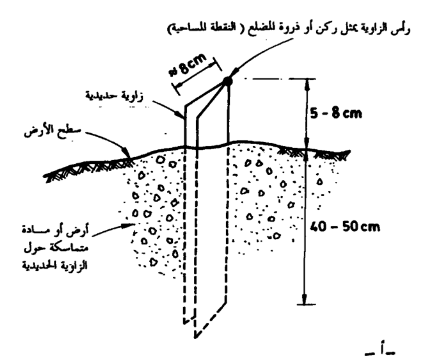
د - رأس بناء مخروطي أو هرمي (أعلى الكنيسة على سبيل المثال، Church Spire أو نقطة محددة من هلال مئذنة المسجد أو نقطة ثابتة مميزة من رأس برج ضغط عالي أو برج اتصالات ... الخ).

هـ - زاوية حديدية بطول (50 - 80 cm) لا يظهر منها فوق سطح الأرض أكثر من 5 إلى 8 سم محاطة بما يحميها من المؤثرات الخارجية من حولها (انفجارات في مواقع قريبة، اهتزازات ناجمة عن حركة آليات أو مياه أو تربة كما ذكرنا آنفا) بالإضافة إلى آثار الصقيع (Frost) ، شكل (6-38).

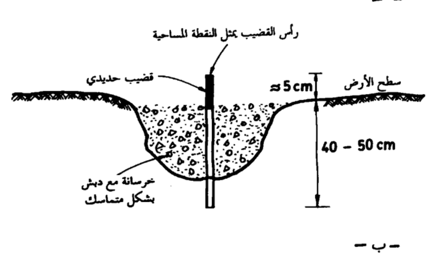
و - حفرة بعمق وقطر (40 سم) إلى (50 سم) مملوءة بالخرسانة يتوسطها قضيب حديدي أو زاوية حديدية أو علامة معدنية مناسبة، **شكل 6 - 39** .

ز - اسطوانة خرسانية قطر (15سم) إلى (20 سم) وارتفاع (30 سم) إلى (40 سم) توضع في حفرة مناسبة وترك جوانبها.

ج - مسمار قطر (6 مم) أو أكبر بطول (15 سم) تقريبا يغرس في شق صخري ، أو في موقع آخر مناسب، **شكل 6-40** .



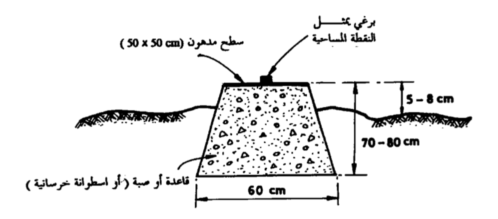
ـ أ ـ



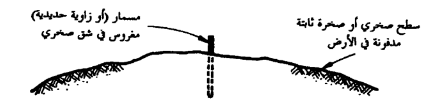
ـ ب ـ

شكل 6 - 38 – أ – نموذج لزاوية حديدية كعلامة لنقطة مساحية (Survey Marker) (منظر جانبي)

ب – علامة مساحية على شكل قضيب حديدي (أو زاوية حديدية أو ماسورة فولاذية ... الخ) مغروس في صبة خرسانية ضمن حفرة في الأرض .(مقطع)



شكل 6 - 39 علامة مساحية على شكل قاعدة خرسانية مغروس في سطحها برغي أو قرص مع علامة + في وسطه يمثل النقطة المساحية ، (مقطع).



شكل 6-40 علاقة مساحية على شكل مسمار (أو زاوية حديدية) مغروس في شق صخري ، (مقطع)

ملاحظة :

إن الغرض من إنشاء مضلع ما يحدّد مدى الديمومة اللازمة للعلامات المساحية التي ستجسّد أركان المضلع وبالتالي تحدد شكل ومواصفات هذه العلامات ومدى صلاحيتها الدائمة (Permanently Oriented) أو المؤقتة (Temporarily Marked) . على سبيل المثال، لاحاجة لوضع مواصفات لعلامات دائمة في حالة إنشاء مضلعات لخدمة مشاريع هندسية صغيرة لا تتجاوز فترة تنفيذها السنة الواحدة أو حتى بضعة شهور. في مثل هذه المشاريع ذات الأهمية الضئيلة والحجم الصغير وفترة الإنشاء القصيرة قد يكتفي بأوتاد خشبية مدببة (Hubs or Sharpened Wood Stakes) بمقطع (5 × 5 cm) تقريباً وطول (40 cm إلى 50 cm) يدق في رأسه مسمار تكون طبعته بمثابة النقطة الممثلة لركن المضلع. في حالة الحاجة إلى علامات أكثر ديمومة لمشاريع أكبر نسبياً ، يمكن استخدام المواسير الحديدية (Iron Pipes) والقضبان الفولاذية (Steel Rods) والأوتاد الخشبية الثقيلة (Heavy Wood Hubs) . كذلك يمكن استخدام علامات على شكل نقر (Chisel) على السطوح الخرسانية ، وغرس مسامير ضمن أقراص معدنية (Shiners) تثبت على السطوح الأسفلتية (Bituminous Surfaces) . بخصوص العلامات الدائمة، وحيث متطلبات الدقة والديمومة أساسية والحاجة إلى استخدامها كمرجعيّة دائمة للإحداثيات قائمة ، لابدّ من استخدام علامات قوية جداً . على سبيل المثال ، أقراص برونزية دائرية (Circular Bronze Tablets) ذات جذع (Shank) يجري غرسها (تثبيتها) ضمن سطح صخري ثابت مستقر أو عمود خرساني أو جدار حجري .. الخ. يجدر بالذكر أنه يتوفر في الأسواق الكثير من العلامات المناسبة والمتعددة المواصفات والأغراض التي يمكن استخدامها كعلامات دائمة أو متوسطة الديمومة أو مؤقتة وفقاً لطبيعة المشروع الحاجة المستقبلية كما ذكرنا آنفاً .

13-3-6 العدد اللازم لإنجاز القياسات الميدانية الخاصة بالتضليع (المضلعات أو المسالك):

يعتمد العدد اللازم من المساحين والمساحين المساعدين لإنجاز أعمال التضليع (مساحة للمسالك أو المضلعات Traverse) على عدة عوامل ، أهمها :

1 - نوع الأجهزة المستخدمة في قياسات الزوايا والمسافات ، هل هي بصرية تقليدية (في حالة قياس الزوايا) وأشرطة (في حالة قياس المسافات) أم إلكترونية حديثة لقياس الزوايا والمسافات ؟

2 - طبيعة ومدى العوائق التي قد تعترض أعمال القياس الميدانية من غابات (أشجار كثيفة وأودية وجبال وميول كبيرة وأرض وعرة ... الخ).

3 - مدى الدقة المطلوبة .

4 - عامل الزمن أو بالأحرى الوقت المخصص لإنجاز العمل الميداني وما يتبعه من أعمال تحقق وتكمله (Checking and Completion) .

لنأخذ الحالتين التاليتين ، الحالة التي تستخدم فيها أجهزة بصرية لقياس الزوايا وأشرطة معدنية لقياس المسافات ، والحالة التي تستخدم فيها الأجهزة الألكترونية. بالنسبة للحالة الأولى يجري تقسيم فريق المساحة إلى مجموعتين إحداهما لقياس الزوايا والأخرى لقياس المسافات وكل مجموعة تضم إثنان على الأقل (الحد الأدنى) ويفضل ثلاثة أشخاص وذلك في غياب العوائق الطبوغرافية وقسوة الشروط الجوية . فإن وجدت هذه العوائق فربما احتاج الأمر إلى أربعة أو خمسة أشخاص للمجموعة الواحدة. وبالنسبة للحالة الثانية (استخدام الأجهزة الالكترونية) فيكتفى عادة بإثنين فقط وذلك في ظل شروط قياس مثالية ، إحداهما للعمل على الجهاز القائس للزوايا (الثيودوليت) والجهاز القائس للمسافات (الدستومات EDM) معا (أحيانا يكونان وحدة واحدة أو يمكن جمعهما معا كجهاز المحطة الشاملة (Total Station) بالإضافة إلى عملية التدوين (أي للقياس والتدوين معا) أما الشخص الثاني فيخصص للعاكس . غير أنه من المفضل أن يتكون الفريق من ثلاثة أشخاص ، واحد لقياس الزوايا والمسافات وواحد كمدون للمعلومات (Notekeeper) والثالث للتنقل بالعاكس (To Set up Reflector Targets). أما في ظل شروط قياس صعبة كوجود الغابات الكثيفة والعوائق الأخرى فإن الأمر سيحتاج إلى شخص أو ربما إلى شخصين إضافيين لتأمين الرؤية بين المحطتين والذي يستلزم قطع بعض الأغصان والقيام بأعمال أخرى .

6-3-14 برنامج مشروع مضلعات :

لغايات ترسيخ المعلومات النظرية نقترح إنجاز للمشروع التـــالي بشقيـــه النظـــري والعملي.

أولاً : العمل الميداني :

1 - اختيار الموقع :

يجري اختيار موقع مناسب بحيث يشتمل على معالم وتفاصيل كالأبنية والطـــرق والساحات والحدائق ... الخ ،

انظر الأشكال من (6-41) إلى (6-47) ولاحظ تنوعها من حيث خطوط ونقاط البداية والنهاية وكذلك من حيث اتجاه الترقيم واتجاه قياس الزوايا .

2 - اختيار مواقع رؤوس المضلع

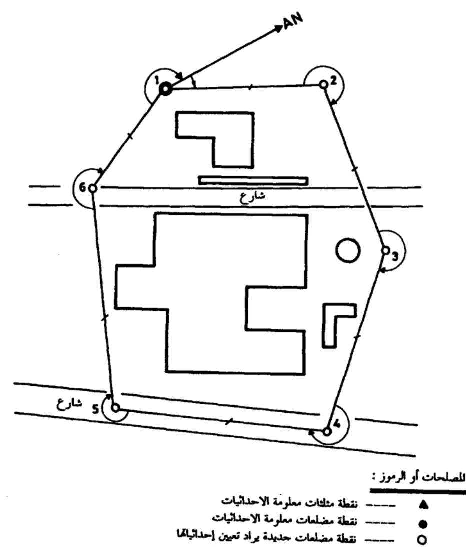
تكون في مواقع مناسبة ، أي مكشوفة وثابتة وبعيدة ما أمكـــن عـــن الحركـــة وأسباب الإزاحة أو الاقتلاع وقريبة ما أمكن من المعالم والتفاصيل، انظر الشكل (6-41) .

3 - غرس علامات مناسبة (قضبان حديدية قطـــر 12 مـــم أو أوتـــاد فولاذيـــة أو اسطوانات خرسانية قطر 15 – 20 سم يعلو سطحها صفيحة معدنيـــة أبعـــاد ٤×٤سم في وسطها علامة + محفورة لتدل على موقع النقطة بدقة) في مواقـــع رؤوس المضلع المختارة لتحسيدها في الطبيعة .

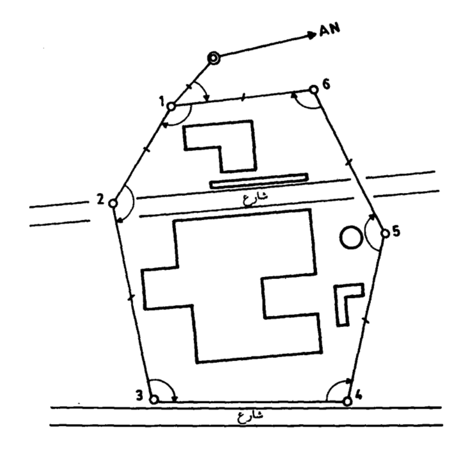
4 - ترقيم رؤوس المضلعات بأرقام متسلسلة (1 , 2 , 3 ,....) باتجاه دوران عقـــرب الساعة (يمكن الترقيم باتجاه معاكس أيضاً) ، شكل (6 -41) وشكل (6-42).

5 - عمل كروكي لكل رأس من رؤوس المضلع بحيث تقاس مســـافات و/أو زوايـــا لغايات تحديد مواقع معلمين رئيسيين على الأقل (أو وتدين على الأقل مغروسين جيداً) بجوار كل رأس . تهدف هذه القياسات إلى تمكين المســـاح مـــن إعـــادة

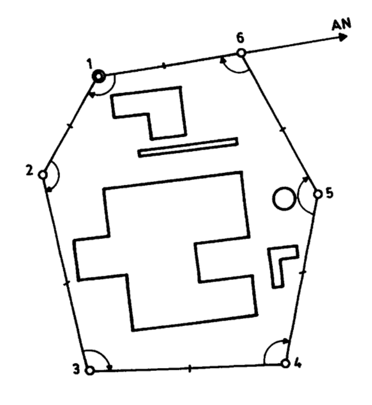
علامات الرؤوس إلى مواقعها بدقة عند حدوث إزاحة أو اقتلاع لها مســـتقبلاً ، انظر الأشكال (3-13) , (3-15) , (3-16) , (3-17) .



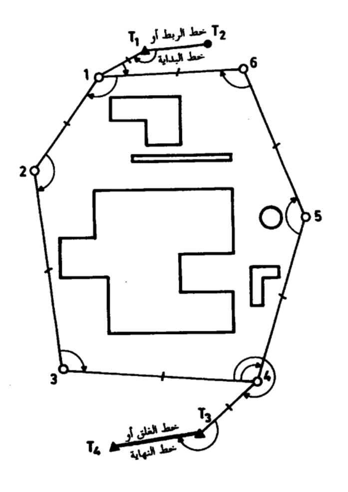
شكل 6 -41 مضلع حلقي "ضعيف" بإحداثيات نسبية محلية



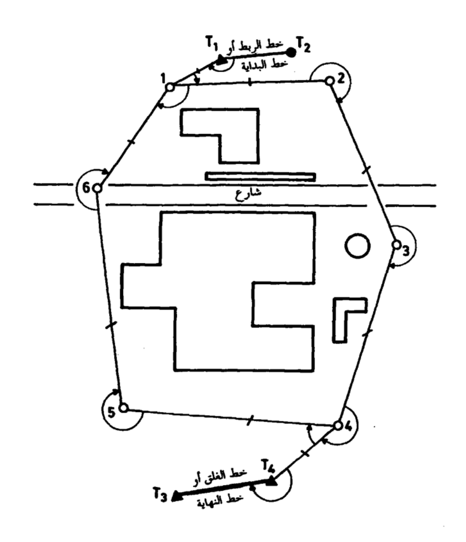
شكل 6 - 42 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



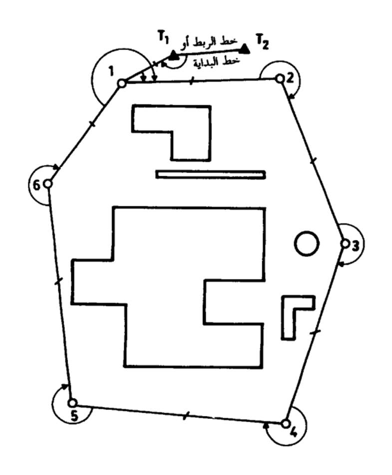
شكل 6 - 43 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



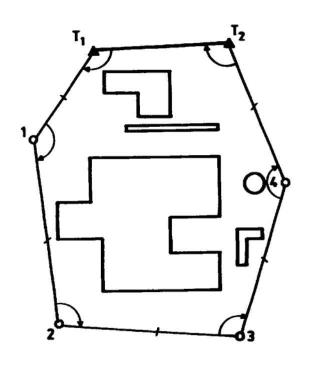
شكل 6 - 44 مضلع حلقي " قوي " بإحداثيات مطلقة



شكل 6 - 45 مضلع حلقي " قوي بإحداثيات مطلقة "



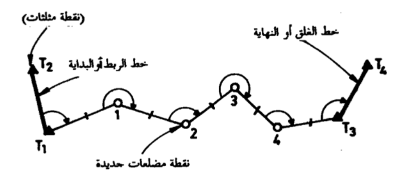
شكل 6 - 46 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات مطلقة



شكل 6 - 47 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات مطلقة

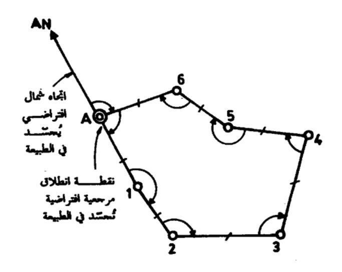
6 – البحث عن أقرب نقطتين معلومتي الإحداثيات (نقاط مثلثات أو مضلعات قديمة) لموقع بداية المضلع (أو المشروع) وعن أقرب نقطتين لموقع نهاية المضلع . الـــزوج الأول من النقاط المعلومة لغايات الربط والزوج الثاني لغايات الغلق (أي التدقيـــق والتحقق) . فإن لم يتوفر مثل هذه النقاط (للربط والغلق) الأربع بـــل نقطتـــان للربط فقط ، عندها يجري استخدامهما في الربط والغلق معـــاً. وفي الحالات التي لا تتوفر فيها نقاط معلومة على الإطلاق (أو بعيدة جداً بحيث يصعب ، من حيث الوقت والتكلفة ، الربط والإغلاق عليها) يجري اختيار وتجسيد موقع مناســـب لنقطة مؤقتة وتعطى إحداثيات افتراضية بالإضافة إلى افتراض وتجسيد اتجاه مؤقت عشوائي للشمال ماراً بالنقطة المؤقتة . بهذا يمكن البدء بالنقطة المؤقتـــة والاتجـــاه العشوائي أو الافتراضي للشمال لغايات حساب الإحداثيات لرؤوس المضلع. هذه الإحداثيات ستكون بالطبع غير مرتبطة بشبكة الإحداثيات العامة المرجعية ولكنها ستكون صالحة لتحديد المواقع النسبية للتفاصيل والمعالم المجاورة . كذلك يمكـــن الانتقال من هذه الإحداثيات المؤقتة إلى المطلقة (الإحداثيات الـــتي تتبـــع نظـــام الإحداثيات العام الموحد) عند الحاجة مستقبلاً إذا توفرت عناصر الربط بالشبكة العامة للإحداثيات وذلك بتطبيق معادلات التحويل اللازمة .

7 – قياس جميع الزوايا الأفقية (باتجاه دوران عقرب الساعة) بدءاً من خـــط الاتجـــاه المرجعي (أي الخط الذي يصل بين نقطتي الربط المعلومتين بجوار بداية المضلع أو الخط الممثل لاتجاه الشمال الافتراضي) وانتهاءاً بالخط الذي يصل بين نقطتي الغلق المعلومتين بجوار نهاية المضلع أو بالضلع الأخير من المضلع والذي يغلق على نقطة بداية المضلع، أنظر الأشكال التالية :



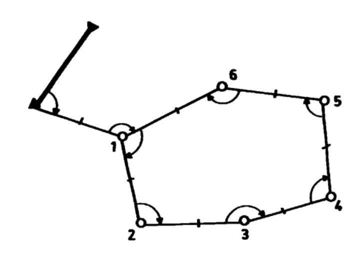
شكل 6 - 48 مضلع ربط (Connecting Traverse)،

" قوي " بإحداثيات مطلقة

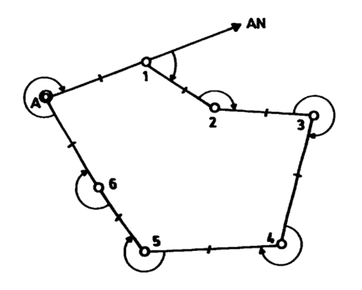


شكل 6 -49 مضلع حلقي (Loop Traverse)

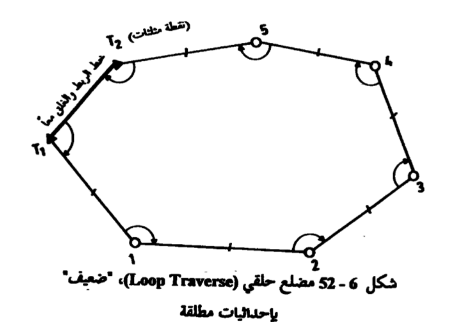
"ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



شكل 6 - 50 مضلع حلقي ، " ضعيف " بإحداثيات مطلقة



شكل 6 -51 مضلع حلقي " ضعيف " بإحداثيات نسبية محلية



شكل 6 - 52 مضلع حلقي (Loop Traverse)، "ضعيف"

بإحداثيات مطلقة

(نقطة مثلثات)
T_2
خط الربط أو البداية
T_1
1
2
3
4
5
6
T_3
T_4
خط الغلق أو النهاية

شكل 6 - 53 مضلع حلقي ووصل (ربط) معاً ، "قوي" بإحداثيات مطلقة

(Both Loop and Connecting Traverse)

ملحوظة :

Δ ترمز إلى نقطة مثلثات (أو مضلعات) معلومة الإحداثيات

⊙ نقطة مضلعات جديدة يراد تعيين إحداثياتها

◉ نقطة مرجعية ذات إحداثيات افتراضية

AN اتجاه شمال افتراضي

ضلع مقيس (يجري قياس مسافته الأفقية في الطبيعة)

زاوية أفقية مقيسة باتجاه دوران عقرب الساعة

8 - قياس المسافات الأفقية لجميع الأضلاع باستثناء المسافات بين النقاط المعلومة سابقاً .

9 - تحديد مواقع أركان المبنى باستخدام أحد الطرق المناسبة (الطريقة القطبية، طريقة البعد العمودي ، طريقة التقاطع الأمامي ، طريقة البعدين غير العموديين (Oblique or Tie Lines .

10 - تحديد مواقع التفاصيل المختلفة حول وبجوار المبنى بإحدى طرق الجنزير (Chain Surveying) أو بإحدى الطرق المناسبة الأخرى وذلك استناداً إلى أركان المبنى (وهذا يكفي) أو/و أركان وأضلاع المضلع (أي بقياس مسافات وزوايا أفقية استناداً إلى المضلع المنشأ ذاته .

ثانياً : العمل المكتبي :

يشتمل العمل المكتبي على البنود الأساسية التالية :

1 - حساب السموت لأضلاع المضلع وإجراء التصحيح اللازم بعد تحديد خطأ القفل السمتي والتأكد من وقوعه ضمن مجال الخطأ المسموح .

2 - حساب الإحداثيات الأولية لأركان المضلع وإجراء التصحيح اللازم على هذه الإحداثيات بعد تحديد كل من خطأ القفل السيني (ε_x) وخطأ القفل الصادي (ε_y) والتحقق من عدم تجاوز الخطأ الخطي النسبي (Relative Error of Closure) لحدّ التساهل أو المجال المسموح ، وفقاً لطبيعة وغايات العمل المساحي ، وصولاً إلى الإحداثيات النهائية (المصححة) لأركان المضلع .

3 - حساب الإحداثيات لمواقع بعض التفاصيل (من 15 إلى 20 موقع متنوع) ومن بينها كافة زوايا المبنى .

4 - تمثيل مواقع المضلع والمبنى والتفاصيل على مخطط بمقياس رسم (500 /1) أو (1/1000) .

5 - إبراز المقياس العددي والبياني واتجاه الشمال وجـــدول المصطلحـــات والرمـــوز وإخراج المخطط بشكل متكامل ونظيف (Finishing the Plan) .

ملاحظات :

أ - يتم قياس الزوايا الأفقية بدقة عالية (لأقرب ثانية بواحدة ، أي باستخدام : One Second Theodolite) وتقرأ الزاوية مرتين على الأقل وبشكل مســـتقل وفي وضعين مختلفين للمنظار (الوضع المتيامن والوضع المتياسر).

ب - يستخدم الدستومات لقياس المسافات الأفقية ولأقرب 1مم فإن لم يتوفر الجـــهاز الإلكتروني لقياس المسافات (الدستومات أو الـــ EDM) يمكـــن اســـتخدام الشريط الفولاذي (Steel Tape) مع مراعاة شروط الدقة العالية .

ج - يراعى أن يتم ضبط الجهاز بشكل ممتـــاز من حيث الأفقية والرأســـية (وقـــوع مركز الجهاز رأسياً فوق محطة الرصد).

د - يجري التأكد من معايرة الدستومات أو الشريط الفولاذي قبل البـــدء بالقيـــاس بالإضافة إلى فحص ومعايرة الثيودوليت .

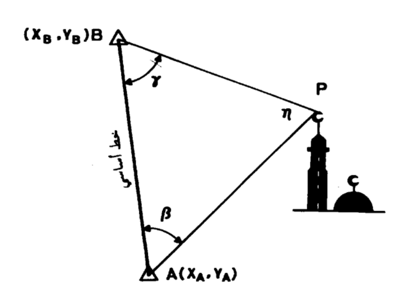
هـ - مراعاة تمركز العاكس بشكل رأسي فوق المحطة المرصودة .

و - مراعاة التدوين السليم وأخذ القياسات الخاصة بالشروط الجوية (مـــن ضغـــط وحرارة) أو إدخالها في الجهاز أثناء القياس وذلك حسب نوع وشروط جـــهاز الدستومات .

6 - 4 تعين الإحداثيـــات بطريقتي التقاطع الأمـــامي (Intersection) والتقـــاطع العكسي (Resection) ، [م33]

6-4-1 طريقة التقاطع الأمامي

لحساب إحداثيات النقاط التي يصعب الوصول إليها كرؤوس للمـــآذن وأبـــراج الكنائس وللمداخن العالية (شكل 6-54) يمكن استخدام طريقة التقاطع الأمامي. لتوضيح هذه الطريقة دعنا نتابع حلّ للمثال التالي :



شكل 6 - 54 تعين إحداثيات نقطة بطريقة التقاطع الأمامي

مثال 6 -14 :

في الشكل (6-54) لديك للمعطيات التالية :

$X_A = 795.32\ m \quad , \ X_B = 951.66m$

$Y_A = 703.66\ m \quad , \ Y_B = 776.39m$

$\beta = 29^\circ \ 38' \ 16'' \quad , \ \gamma = 41^\circ \ 59' \ 37''$

المطلوب حساب إحداثيات النقطة P .

الحـــــل :

1 - حساب اتجاه الضلع (AB) من خلال إحداثيات النقطتين (A) و (B) .

$$AB = [(156.34)^2 + (72.73)^2]^{\frac{1}{2}} = 172.43\ m$$

2 - حساب اتجاه (AP) بمعرفة اتجاه (AB) والزاوية الأفقية (β) .

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1}\left(\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}\right)$$

$$\alpha_{AB} = \tan^{-1}\left(\frac{156.34}{72.73}\right) = 65^\circ \quad 03' \quad 07''$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta = 65^\circ \quad 03' \quad 07'' + 29^\circ \quad 38' \quad 16''$$

$$\alpha_{AP} = 94^\circ \quad 41' \quad 23''$$

3 -حساب طول الضلع (AP) بتطبيق قانون الجيب :

$$\eta = 180^\circ - (29^\circ \quad 38' \quad 16'' + 41^\circ \quad 59' \quad 37'') = 108^\circ\ 22'\ 07''$$

$$\frac{AP}{\sin\gamma} = \frac{AB}{\sin\eta} \quad , AP = AB\,(\sin\gamma) / \sin(\eta)$$

$$AP = 121.56\ m$$

4 - حساب إحداثيات (P) من خلال طول واتجاه (AP) :

$$X_P = X_A + d_{AP} \quad \sin\alpha_{AP}$$

$$X_P = 795.32 + (121.56)(\sin 94^\circ \quad 41' \quad 23'')$$

$$X_P = 916.47\ m$$

$$Y_P = Y_A + d_{AP} \quad \cos \quad \alpha_{AP}$$

$$Y_P = 703.66 + (121.56)(\cos\ 94^\circ\ 41'\ 23'')$$

$$Y_P = 693.72 m$$

5 - التحقق الحسابي :

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BA} - \gamma$$

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^o = 245^o\ 03'\ 07''$$

$$\alpha_{BP} = 245^o\quad 03'\quad 07'' - 41^o\ 59'\ 37'' = 203^o\ 03'\ 30''$$

$$\frac{BP}{Sin\beta} = \frac{AB}{Sin\eta},\ BP = AB\,(Sin\,\beta)\,/\,Sin\,(\eta)$$

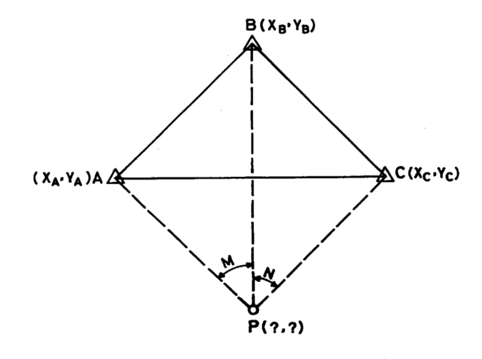
$$BP = 89.85m$$

$$X_P = X_B + d_{BP}\ Cos\ \alpha_{BP} = 916.47m$$

$$Y_P = Y_B + d_{BP}\ cos\ \alpha_{BP} = 693.72\ m$$

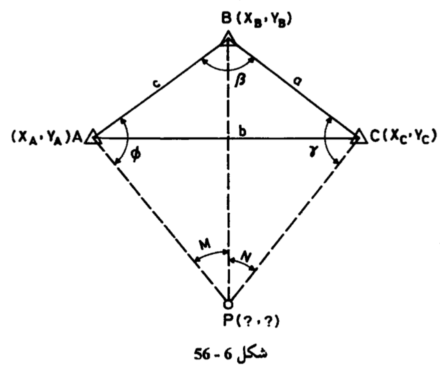
6-4-2 – طريقة التقاطع العكسي :

يمكن تعيين إحداثيات نقطة ما إذا أمكن تثبيت جهاز قياس زوايا فوقها (أي أمكن الوصول إليها ونصب الجهاز فوقها) ورصد ثلاث نقاط أخرى (على الأقل) معلومة الإحداثيات . على سبيل المثال، في الشكل (6 -55) إذا افترضنا أن هناك ثلاث نقاط



شكل 6 - 55 إحداثيات نقطة بطريقة التقاطع العكسي

معلومة الإحداثيات $(X_A , Y_A , X_B , Y_B , X_C , Y_C)$ ومرئية من النقطة المجهولة $P(X_P, Y_P)$ والتي يسهل تثبيت جهاز قياس زوايا (ثيودوليت) فوقها، فإنه يمكن بقياس الزاويتين (M) و(N) وبمعلومية إحداثيات النقاط (A) ، (B)، (C) اشتقاق إحداثيات النقطة المجهولة (P) وذلك على الشكل التالي ، شكل (6 - 56) :



شكل 6 - 56

لدينا :

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC}$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{X_A - X_B}{Y_A - Y_B}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{X_C - X_B}{Y_C - Y_B}\right)$$

$$\phi + \gamma = 360^\circ - (\beta + M + N) = Q$$

$$a = [(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = [(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{BP}{\text{Sin}\,\phi}=\frac{c}{\text{Sin M}},\frac{BP}{\text{Sin}\,\gamma}=\frac{a}{\text{Sin N}}$$

$$BP=\frac{c(\text{Sin}\,\phi)}{\text{Sin M}}=\frac{a\,(\text{Sin}\,\gamma)}{\text{Sin N}}$$

$$\frac{\text{Sin}\,\phi}{\text{Sin}\,\gamma}=\frac{a(\text{Sin M})}{c(\text{Sin M})}=U$$

$$\text{Sin}\,\phi=U\,(\text{Sin}\,\gamma)$$

وسبق أن وجدنا :

$$\phi=Q-\gamma$$

$$\text{Sin}\,\phi=(\text{Sin Q})\,(\text{Cos}\,\gamma)-(\text{Cos Q})(\text{Sin}\,\gamma)$$

$$U(\text{Sin}\,\gamma)=\text{Sin(Q)}\,(\text{Cos}\,\gamma)-(\text{Cos Q})\,(\text{Sin}\,\gamma)$$

بالقسمة على ($\text{Cos}\ \gamma$) ، ينتج :

$$U\,(\tan\gamma)=\text{Sin Q}-(\text{Cos Q})\,(\tan\gamma)$$

$$\tan\gamma\,(U+\text{Cos Q})=\text{Sin Q}$$

$$\tan\gamma=\text{Sin Q}\,/\,(U+\text{Cos Q})$$

$$\gamma=\tan^{-1}[(\text{Sin Q}\,/\,(U+\text{Cos Q})$$

$$\phi=Q-\gamma$$

دعنا نوضّح هذه الاشتقاقات بالمثال التالي :

مثال 6 - 15 :

لديك في الشكل (6-56) المعطيات التالية :

$X_A=6318.66\text{ m}\quad ,Y_A=5516.76\text{m}$

$X_B=7011.14\text{ m}\quad ,\ Y_B=5718.88\text{m}$

$X_C=7469.13\text{m}\quad ,\ X_C=5587.19\text{m}$

$\hat{M}=38^{o}\quad 02'\quad 54'',\hat{N}=42'\quad 19'\quad 13''$

المطلوب إيجاد إحداثيات النقطة (P) .

الحـــــل :

$$a = [(7469.13 - 7011.14)^2 + (5587.19 - 5718.88)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$a = 476.55m$$

$$c = [6318.66 - 7011.14)^2 - (5516.76 - 5718.88)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = 721.37m$$

$$\alpha_{BA} = \tan^{-1}(\frac{6318.66 - 7011.14}{5516.76 - 5718.88}) = 253^\circ \quad 43' \quad 43''$$

$$\alpha_{BC} = \tan^{-1}(\frac{7469.13 - 7011.14}{5587.19 - 5718.88}) = 106^\circ \quad 02' \quad 31''$$

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC} = 147^\circ \quad 41' \quad 12''$$

$$Q = 360^\circ - (M + N + \beta) = 131^\circ \quad 56' \quad 41''$$

$$U = a\,(\mathrm{Sin}\,M) / c\,(\mathrm{Sin}\,N)$$

$$U = 0.604740 \quad \text{rad.}$$

$$\gamma = \tan^{-1}[\mathrm{Sin}\,(131^\circ\ 56'\ 41'') / (0.604740 + \mathrm{Cos}\,(131^\circ\ 56'\ 41''))]$$

$$\gamma = 94^\circ \quad 53' \quad 35''$$

$$P\hat{B}C = 180^\circ - (N + \gamma)$$

$$P\hat{B}C = 180^\circ - (42^\circ \quad 19' \quad 13'' + 94^\circ\ 53'\ 35'') = 42^\circ\ 47'\ 12''$$

$$BP = a(\mathrm{Sin}\,\gamma) / \mathrm{Sin}\,N = 705.23m$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BC} + P\hat{B}C$$

$$\alpha_{BP} = 106^\circ\ 02'\ 31'' + 42^\circ\ 47'\ 12'' = 148^\circ\ 49'\ 43''$$

$$X_P = X_B + d_{BP} \quad \mathrm{Sin}\,\alpha_{BP}$$

$$X_P = 7011.14 + 705.23\,\mathrm{Sin}(148^\circ\ 49'\ 43'') = 7376.17 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_B + d_{BP} \quad \mathrm{Cos} \quad \alpha_{BP}$$

$$Y_B = 5115.47m$$

وكتحقيق لهذا دعنا نحسب إحداثيات النقطة المجهولة (P) بالطريقة الثانية التالية :

نحسب $(\alpha_{BA}), (\alpha_{BC}), (a), (c)$ من خلال الإحداثيات :-

$$\alpha_{BA} = 253^\circ \quad 43' \quad 43''$$
$$\alpha_{BC} = 106^\circ \quad 02' \quad 31''$$
$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{BC} = 147^\circ \quad 41' \quad 12''$$
$$a = 476.55m \quad , \quad c = 721.37m$$
$$\frac{1}{2}(\phi + \gamma) = 180^\circ - \frac{1}{2}(\beta + M + N)$$
$$\frac{1}{2}(\phi + \gamma) = 180^\circ - (228^\circ \quad 03'' \quad 19'') / 2] = 65^\circ \quad 58' \quad 20''$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{a\,(\text{Sin } M)}{c\,(\text{Sin } N)}\right)$$
$$\lambda = \tan^{-1}\left[\frac{476.55\,(\text{Sin } 38^\circ\, 02'\, 54'')}{721.37\,(\text{Sin } 42^\circ\, 19'\, 13'')}\right]$$
$$\lambda = 31^\circ \quad 9' \quad 47''$$
$$\frac{1}{2}(\gamma - \phi) = \tan^{-1}[\tan\frac{1}{2}(\gamma + \phi)\cot(45^\circ + \lambda)]$$
$$\frac{1}{2}(\gamma - \phi) = 28^\circ \quad 55' \quad 13''$$
$$\gamma = \frac{1}{2}(\phi + \gamma) + \frac{1}{2}(\gamma - \phi)$$

بالتعويض ، ينتج :

$$\gamma = 94^\circ \quad 53' \quad 33''$$
$$\phi = 2(65^\circ\, 58'\, 20'') - 94^\circ \quad 53' \quad 33'' = 37^\circ \quad 03' \quad 07''$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^\circ = 73^\circ \quad 43' \quad 43''$$
$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \phi = 110^\circ \quad 46' \quad 50''$$
$$A\hat{B}P = 180^\circ \quad - (\phi + M) = 104^\circ \quad 53' \quad 59''$$
$$AP = c\,(\text{Sin } A\hat{B}P) / \text{Sin}(M)$$
$$AP = (c)(\text{Sin } 104^\circ \quad 53' \quad 59'') / \text{Sin}\,(38^\circ\, 02'\, 54'')$$
$$AP = 1131.08 \text{ m}$$
$$X_P = X_A + d_{AP} \quad \text{Sin} \quad \alpha_{AP}$$
$$X_P = 7376.16 \text{ m}$$

$$Y_P = Y_A + d_{AP} \quad Cos(\alpha_{AP})$$
$$Y_P = 5115.46m$$

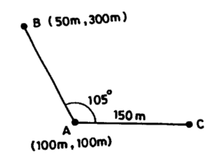
وهي نفس القيم المحسوبة بالطريقة الأولى .

مسائــــــــل :

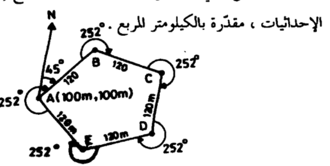
6 - 1 .بمعلومية الإحداثيات التالية ، المطلوب حساب الاتجاه الدائري الكلي (W.C.B. or Azimuth) لكل من الأضلاع AB , AC, IJ, KL, JK .

	X (m)	Y (m)
A	46732.41	3811.26
B	42139.65	36781.33
C	49822.47	37266.32
I	5329.41	4672.66
J	6321.75	5188.24
K	9163.41	3241.81
L	8445.25	3436.93

6 - 2 بالاستعانة بالشكل التالي ، المطلوب حساب إحداثيات النقطة (C) .



6 - 3 مستعيناً بالشكل التالي ، المطلوب حساب مساحة المضلع (ABCDEA) بطريقـــة الإحداثيات ، مقدّرة بالكيلومتر المربع .



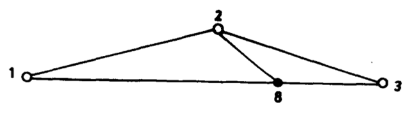
6 - 4 الجدول التالي يبين الســـموت (الانحرافـــات أو الاتجاهـــات الدائريـــة الكليـــة (Azimuths) لأضلاع مضلع مغلق شكلاً ، المطلوب حساب الزوايا الداخلية لهـــذا المضلع (Interior Angles of the Polygon) .

الضلع SIDE	السمت المصحح CRTD. AZIMUTH
1 - 2	25° 50′ 44″
2 - 3	81° 04′ 09″
3 - 4	112° 04′ 09″
4 - 5	134° 44′ 57″
5 - 6	260° 46′ 23″
6 - 7	275° 22′ 19″
7 - 1	358° 28′ 21″

6 - 5 أكتب القيم الصحيحة بدلا من علامات الاستفهام في الجدول التالي الذي يبين المساقط السينية والمساقط الصادية المصححة لأضلاع مضلع مغلق شكلا (Polygon).

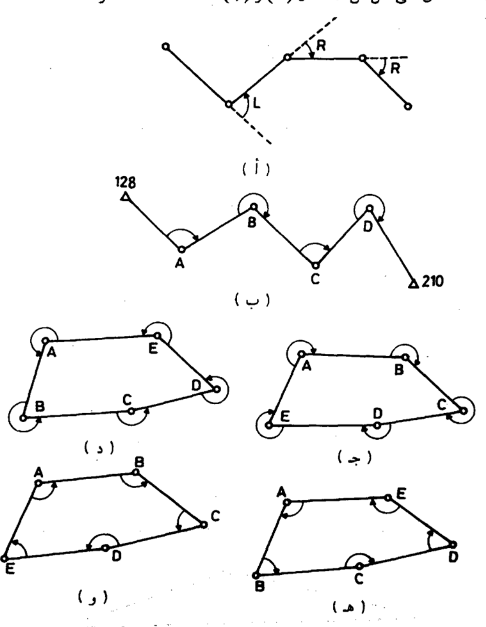
الضلع Side	المسقط السيني Departure (m)	المسقط الصادي Latitude (m)
AB	+ 1.751	- 222.904
BC	؟	- 1.763
CD	- 0.581	؟
DA	- 340.581	- 2.512

6 - 6 مستعينا بالشكل المثلثي التالي وإحداثيات رؤوسه ، المطلوب حساب مقدار المسافة الأفقية (2 , 8) علما بأن للمسافة (3 , 8) تساوي : $d_{3,8} = 18.67$

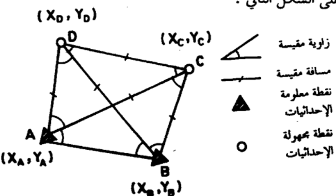


	X- Coor. (m)	Y - Coor. (m)
1	1180.918	309.745
2	1236.060	423.569
3	1292.756	432.455

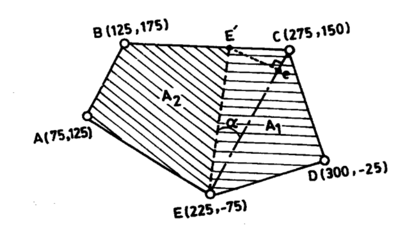
7 - 6 علقّ على كل من الأشكال (أ) و (ب) ، جـ ، د ، هـ ، و .



6 - 8 علّق على الشكل التالي :



6 - 9 قطعة أرض خماسية الشكل وإحداثيات زواياها (أركانها) الخمس معلومة ، الشكل التالي ، يراد تقسيم هذه القطعة إلى جزئين بنسبة (4) إلى (7) على أن يمر خــط



التقسيم من النقطة E ، والمطلوب :

أ – حساب إحداثيات النقطة (E′) التي تشكل الطرف الثاني لخط التقسيم.

ب – وصف خطوات التقسيم الميدانية بالطرق الثلاث التالية :

1 – الطريقة التقليدية القديمة (شريط ، شواخص ، برزما ... الخ).

2 – طريقة الدستومات (Electronic Distance Metre, EDM) .

3 – طريقة المحطة الشاملة (Total Station) .

10.-6 أنجز العمليات الحسـابية التالية للمضلع الرابط المبين في الشكل التالي (مرجـع رقم 3:3):

أ – حساب خطأ الإغلاق في الانحراف (Azimuth Closure) وتوزيعه وتعيين الانحرافات المصححة لأضلاع المضلع .

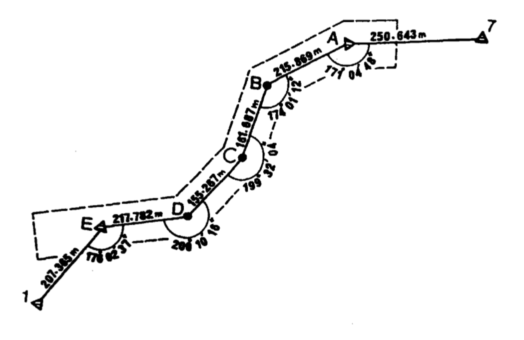
ب – حساب الإحداثيات الأولية لأركان المضلع وتعيين مقدار كل من خطـأي الإغلاق الخطي والنسبي (Linear and Relative Erros of Closure).

ج – حساب مقدار التصحيح لكل من الإحداثيين السيني والصادي لكل ركـن من أركان المضلع .

د – حساب الإحداثيات السينية والصادية النهائية المصححة لأركان المضلع.

هـ – حساب انحراف وطول كل ضلع من أضلاع المضلع باستخدام الإحداثيات النهائية .

علما بأن إحداثيات نقاط الضبط عند بداية ونهاية المضلع هي كما هـو مبين في الجدول التالي :



Point No. رقم النقطة	إحداثيات نقاط الضبط Control Point Coordinates	
	الإحداثي السيني X-Coordinate (m)	الإحداثي الصادي Y-Coordinate (m)
A	1594.627	5757.854
E	1748.552	5051.688
7	1531.544	6000.494
1	1725.936	4845.611

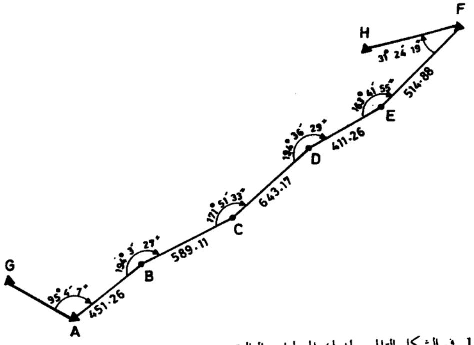
6 - 11 إنجز نفس العمليات الحسابية المطلوبة في المسألة السابقة ولكن على أساس الشكل التالي والإحداثيات والانحرافات الواردة في الجدول التالي (مرجع رقم -33) :

إحداثيات نقاط الضبط : (Control point coordinates)

Point	X	Y
A	46891.33m	17226.89m
F	48918.47m	18840.31m

الانحرافات المعلومة : (Known azimuths)

Line	Azimuth
AG	307° 43′ 25″
FH	258° 25′ 28″

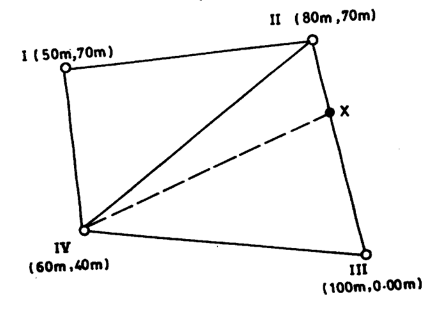


6 - 12 في الشكل التالي ، لديك المعطيات التالية :

أ - مساحة الجزء (I , II , X , IV) = $1520m^2$

ب - إحداثيات أركان المضلع هي كما هو مبين بجانب كل ركن على الشكل نفسه .

المطلوب : حساب المسافة الأفقية (II X) .



6 - 13 إذا علمت أن قياسات المسافة الأفقية لمضلع معـــين كـــانت تتـــم باســـتخدام دستومات دقته $\pm(5mm + 10ppm)$ على أساس 1σ (At One Standard Error) فما هي الدقة التي يجب أن تقاس فيها الزوايا علما بأن معدل أطـــول أضلاع المضلع يساوي (600m)؟

6 - 14 نفس المسألة السابقة ولكن دقة الدستومات $\pm(5mm + 5ppm)$ ؟

6 -15 إذا كانت زوايا مضلع معين تقاس بدقة $(\sigma_\alpha = \pm 1'')$ فما هي دقة قياس أطوال أضلاع المضلع (النسبية) التي تنسجم مع دقة قياس الزوايا ؟

6 - 16 نفس المسألة السابقة ولكن على أساس : $(\sigma_\alpha = \pm 30'')$ ، $(\sigma_\alpha = \pm 3'')$

6 - 17 يراد القيام بمسح مضلعات (تضليع) لغايات المرتبة الثانية – صنف ثاني علما بأنه يتوفـــر لديـــــك قـــائس مســـافات إلكـــتروني (EDM) دقتـــه $[\sigma_d = \pm(4mm + 5ppm)]$ وجهاز ثيودوليت دقته $(\sigma_\alpha = \pm 1'')$ وأن معـــدل أطوال أضلاع المضلع يساوي (700m) . هل يمكن الاستجابة لمعايير الدقـــة في ظل المتوفر ؟ وهل تنسجم دقة قياس الزوايا مع دقة قياس المســـافات حســـب الأجهزة المتوفرة ؟

6 - 18 إذا لم تتحقق شروط المواصفات (معايير الدقة) في المسألة السابقة ، فماذا يمكـــن أن يكون أحد الحلول ؟

6 - 19 احسب زاوية التقارب لخطي الشمال الجغرافي بين نقطتين مســـاحيتين (I) و (II) إحداثياتهما الجغرافية كما يلي :

$$\phi_I = 44^\circ \; 30' \; 16''N, \quad \lambda_I = 78^\circ \; 32' \; 17''W$$

$$\phi_{II} = 44^\circ \; 38' \; 49''N, \quad \lambda_{II} = 78^\circ \; 27' \; 43''W$$

6 - 20 نفس المسألة السابقة ولكن :

أ -

$$\phi_I = 31^o \quad 17' \quad 23''N, \quad \lambda_I = 76^o \quad 48' \quad 25''W$$
$$\phi_{II} = 31^o \quad 08' \; 14''N, \quad \lambda_{II} = 76^o \quad 56' \quad 36''W$$

ب -

$$\phi_I = 45^o \quad 30' \quad 23''N, \quad \lambda_I = 120^o \quad 39' \quad 16''W$$
$$\phi_{II} = 45^o \quad 31' \; 56''N, \quad \lambda_{II} = 120^o \quad 27' \quad 49''W$$

6 - 21 – احسب زاوية التقارب لخطي الشمال الجغرافي بين نقطتين مساحيتين في ظـــل المعطيات التالية :

- معـــدل زاويـــتي العـــرض للنقطتـــين (Average Latitude) يســـاوي : $(40^o \quad 15'N)$.
- مجموع المساقط الســـينية بـــين النقطتـــين (Departure or East-West Distance) يساوي (9.600 Km).
- نصف قطر الأرض المعتبر (R) يساوي : (6370 km) .

6 - 22 في ظل المعطيات التالية (لاحظ الشكل 6-18) :

- السمت الحقيقي للضلع المرجعي عند نهاية المضلع (T_3 , T_4) يساوي :

$$\alpha_{T_3, T_4} = 346^o \quad 04' \quad 48''$$

- السمت المحسوب للضلع المرجعي يساوي : $\alpha'_{T_3, T_4} = 345^o \quad 55' \quad 24''$
- متوسط زاويتي العرض للنقطتين (T_1) , (T_3) يساوي :

$$(\phi = 39^o \quad 50'N)$$

- النقطة (T_3) شرق النقطة (T_1) بمقدار: $L = 20.313$ km
- نصف قطر الأرض : $(R = 6370$ km$)$

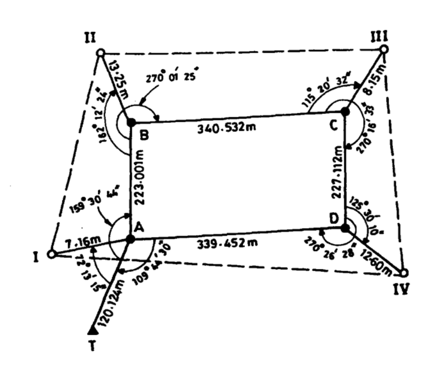
المطلوب حساب خطأ القفل السمتي العائد لخطأ قياس الزوايا .

6 - 23 لتحديد أطوال واتجاهات أضلاع قطعة الأرض (I , II , III, IV) ونظرا لوجود أشجار كبيرة وجدران عالية وعوائق مختلفة ، جرى إنشاء مضلـــع (ABCD) داخل هذه القطعة وتم قياس أطوال أضلاعه كما قيست الزوايا الأفقية اللازمـــة

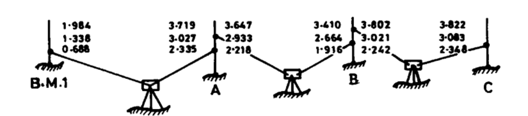
(انظر الشكل التالي). كذلك قيست المسافات والزوايا الأفقية الرابطـــة بـــين أركان المضلع وأركان قطعة الأرض وكانت كما هو مبين على الشكل نفسه.
إذا علمت أن هناك نقطة مرجعية (T) إحداثياتها كما يلي :

$X_T = 3573.628m$, $Y_T = 6238.224m$

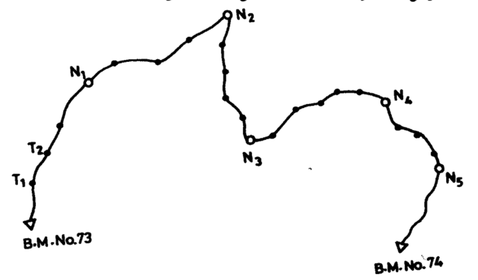
وأن سمت (Azimuth) الضلع (A , T) يساوي : $\alpha_{A,T} = 200^{o}\ 02'\ 13''$ ،
المطلوب حساب أطوال وانحرافات أضلاع قطعة الأرض (I , II , III , IV)
(Length and Azimuth of Each Side of the Parcel)



6 - 24 مستعينا بالمعلومات المدونة أدناه ، المطلوب حساب : أ) منسوب كـــل مـــن النقاط (A) , (B) , (C) ، ب) مقدار المسافة الأعظمية بين الجهاز والمســطرة ، علما بأن مقدار الثابت الستادي 50 .



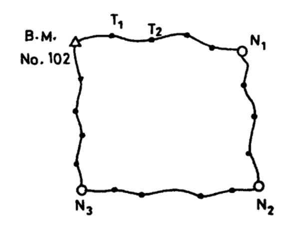
6 - 25 عند حساب مناسيب النقاط الجديدة (N1 , N2 ,.. etc.) ، لاحـــظ الشكـــل التالي، والقفل على علامة المنسوب (B.M. 74) وجد أن خطأ القفـــل خـــارج المجال المسموح بمقدار كبير ، علل ذلك ، وماذا أنت صانع في مثل هذه الحالة؟ وهل كان بالإمكان تجنب ذلك قبل البدء بالقياس ؟



6 - 26 لتعيين مناسيب النقاط الجديدة (N1 , N2 , N3) هل تفضل استخدام الطريقة (أ) أم الطريقة (ب) ؟ وضح ذلك جيدا .

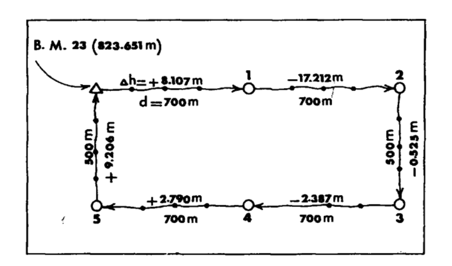


- أ -



- ب -

6 - 27 رتب جدولا بعمليات التصحيح (مقادير التصحيحات والمناسيب المصححة) اللازم تطبيقها على فروق المناسيب المبينة في الشكل التالي بهدف إيجاد المناسيب النهائية المصححة للنقاط 1 , 2 , 3 , 4 , 5 ، أنظر الشكل التالي :



6 - 28 بالرجوع إلى الجدول رقم (6 -11) ، المطلوب إنجاز العلميات التالية :

أ - بافتراض أن منسوب نقطة (B.M.1) يساوي (1001.675m) فكم يكون منسوب نقطة (B.M.2) ؟

ب - بافتراض أن قيمة الثابت الستادي تساوي (50) ، جد طول خط النظر الأعظمي بين الجهاز والمسطرة في ضوء القراءات المدونة في الجدول .

ج - ما هو الفرق الأعظمي بين مسافة القراءة الخلفية ومسافة القراءة الأمامية.

د - جد مقدار الفرق بين مجموع المسافات للقراءات الأمامية ومجموع المسافات للقراءات الخلفية .

6 - 29 بالاستعانة بالشكل التالي، المطلوب إيجاد المناسيب الصحيحة للنقاط الجديدة 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 .

ملحوظة :

لحل المسألة ، يمكنك عمل ما يلي وبالترتيب :

أ – صحح نقاط الحلقة 1 (Loop #1) بشكل يتناسب مع المسافات بين هذه النقاط.

ب – صحح نقاط الحلقة 2 بنفس الأسلوب المتبع في البند أ .

ج – صحح نقاط الحلقة 3 بنفس الأسلوب أيضا .

د – أعـد تصحيح الحلقات الثلاث بالتتابع ولعدد من المرات يصبح فيها خطأ القفل أو الإغلاق (Closure Error) مهملا لجميع الحلقات الثلاث .

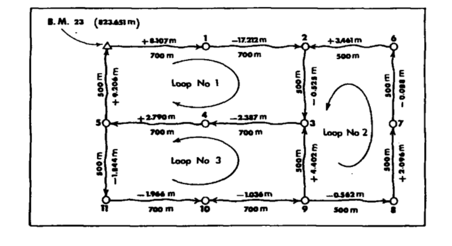
لاحظ ضرورة إدخال القيم المصححة النهائية (الناتجة عن عملية التصحيح السابقة مباشرة) في كل عملية تصحيح جديدة .

6 - 30 أذكر بإيجاز :

أ – خمسة عناصر أساسية في إنجاز عمليات التسوية الدقيقة .

ب – خمسة مصادر رئيسة للأخطاء في أعمال التسوية الدقيقة .

ج – هل نستخدم التسوية العادية أم الدقيقة أم المثلثية في أعمال الطرق؟ وضح ذلك جيدا .





- 7 -

- الفصل السابع -

التسوية المثلثية

TRIGONOMETRIC LEVELLING

7 - الأعمـــال المســاحية الخاصـــة بالتســوية المثلثيـــة (Trigonometric Levelling)

7-1- مقدمة :-

يلزم في مرحلة أو أكثر من مراحل تصميم خطوط المسارات المختلفة معرفة مناسيب (Elevations) نقاط من منــاطق مرتفعـة أو منخفضة أو بعيدة أو وعرة يصعب الوصول اليها أو التنقل حولها . ومن أجل ذلك نلجأ عادة الى طريقة التسوية المثلثية في تعيين المناسيب المطلوبة . وتتلخص هذه الطريقة باجراء قياس للزوايا الرأسية (بواسطة جهاز الثيودوليت وللمسافات (بواسطة الأشرطة و/ أو الأجهزة الالكترونية) انطلاقاً من نقاط استنادية أو مرجعية معلومة المناسيب (Bench Marks) ، تنتشر عادة بالقرب وعلى طول محور المشروع المقترح وقريباً منه وباتجاه النقاط الجديدة المراد تعيين ارتفاعاتها أو مناسيبها ، ثم تتم الاستعانة بالعلاقات الرياضية المناسبة لاستنباط المناسب المطلوبة استناداً إلى قياسات الزوايا والمسافات . وتعتمد دقة المناسيب المحسوبة بهذه الطريقة على عدة عوامل ، من أهمها :-

1- دقة جهاز قياس الزوايا
2- دقة جهاز قياس المسافات
3- اجراء التصحيحات الخاصة بانحناء الأرض (Earth Curvature correction) وانكسار الأشعة (Refraction Correction).
4- دقة فريق المساحة واسلوب عمله وبرامج حساباته . وعلى كل حال ، ان دقة التسوية المثلثية لا تصل الى مستوى الدقة المتناهية Precise Spirit Levelling التي تصلها التسوية التي تُجري باستخدام موازين تسوية دقيقة ووفقا لأساليب وطرق قياسية وحسابية دقيقة غير أن السرعة التي تتميز بها أعمال التسوية المثلثية (خصوصاً في المناطق الوعرة والنقاط البعيدة) تجعل منها طريقةاقتصادية في توفير معلومات المناسب وفروق الارتفاعات لكثير من الغايات وفي العديد من المشاريع الهندسية وفي مقدمتها مشاريع الطرق والسكك الحديدية وخطوط النقل الكهربائية

نقدم فيما يلي نماذج وتطبيقات متنوعة على التسوية المثلثية وسنميز فيها بين الحالة التي تكون فيها النقاط المرصودة (النقاط المراد تعيين مناسيبها) بعيدة (أي تلك التي يزيد بعدها عن حوالي 500m) حيث سنأخذ بعين الاعتبار الأخطاء الناشئة عن انحناء الأرض (Earth Curvature) وانكسار الأشعة (Refraction) والحالة التي تكون فيها هذه النقاط قريبة (التي يقل بعدها عن 500m) حيث سنهمل تأثير كل من انحناء الأرض وانكسار الأشعة وقبل أن نبدأ بعرض هذه التطبيقات دعنا نتفق أولا على الرموز التالية :-

ارتفاع الجهاز (جهاز الرصد) فوق محطة الرصد	i
ارتفاع الهدف المرصود (فعلا) فوق النقطة المراد تعيين منسوبها	t
المسافة الأفقية بين محطة الرصد والهدف المرصود	D
الزاوية الرأسية (Vertical Angle)	α
الزاوية السمتية (Zenith Angle)	Z
فرق المنسوب بين النقطتين A,B	(H_B-H_A)
التصحيح الخاص بانحناء الأرض (Earth Curvature Correction	h_c
التصحيح الخاص بانكسار الأشعة * (Refraction Correction)	h_r
منسوب النقطة فوق المستوى الوسطي لسطح البحر (Reduced Level above M.S.L.	R.L.

7-2 تحديد ارتفاعات ومناسيب الأهداف أو النقاط القريبة مع اهمال تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة .

سنميز هنا أيضاً بين حالتين ، الحالة التي يتم فيها رصد الهدف أو النقطة المقصودة والحالة التي يتم فيها رصد هدف أو نقطة أخرى تقع رأسياً فوق النقطة المقصودة،[م52] .

1- حالة الرصد المباشر للنقطة المراد تحديد منسوبها .

أ) لنفرض في الشكل (7-1) انه يراد تعيين منسوب النقطة C بدلالة الزاوية الرأسية α والمسافة D المقيستين في الحقل وبمعلومية منسوب النقطة A . في هذه الحالة يمكن اتباع الخطوات التالية :-

1- يقاس ارتفاع مركز جهاز الثيودوليت فوق النقطة A وليكن i فيصبح منسوب الخط الأفقي المار بمركز الجهاز (أي H.I.) مساويا .

$$H.I. = i + \text{Reduced Level of Point A} \quad \text{................} \quad \textbf{(1-7)}$$

لاحظ أن منسوب النقطة A معلوم بشكل مسبق

2- يحسب مقدار الارتفاع CC' ارتفاع النقطة C فوق مستوى خط النظر من العلاقة :-

$$CC' = D.\tan\alpha \quad \text{..} \quad \textbf{(2-7)}$$

لاحظ أن كلا من الزاوية الراسية α والمسافة الأفقية D قد قيس في الحقل .

3- يجمع المقدار CC' إلى منسوب خط النظر ، H.I. فينتج لدينا منسوب النقطة C ، أي :-

$$\text{Reduced Level of C} = i + \text{Reduced Level of A} + D.\tan\alpha$$

$$\text{Reduced Level of C} = H.I. + D.\tan\alpha \quad \text{...........} \quad \textbf{(3-7)}$$

ب- اذا أريد معرفة ارتفاع النقطة C فوق النقطة C'' (مسقط النقطة C على سطح الأرض ، شكل (6-1) أي مقدار الارتفاع CC'' ، فيلزم حساب مقدار الارتفاع $C'C''$ من أجل ذلك يكفي أن نقيس الزاوية الرأسية β ونطبق العلاقة التالية:

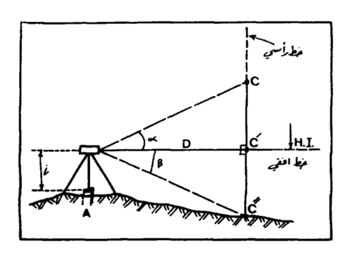
$$CC'' = CC' + C'C'' = D.\tan\alpha + D.\tan\beta$$

$$CC'' = D(\tan\alpha + \tan\beta) \quad \text{.............................} \quad \textbf{(4-7)}$$

جـ - اذا أريد معرفة فرق المنسوب بيـن النقطتين A,C عندهـا نضيف الارتفاع CC' الى ارتفاع الجهاز i فوق النقطة A أي :

فرق المنسوب بين النقطتين A,C شكل (7-1) يساوي :-

Height Difference Between A and C = i +D. tan α........**(5-7)**

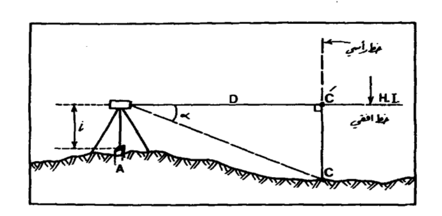


الشكل رقم -7-1-

د- اذا كانت النقطة C المراد تعيين منسوبها واقعة أسفل الخط الأفقي، الشكل (7-2) فيمكن اتباع نفس الاسلوب مع ملاحظة أن المقدار D. tan α يطرح من منسوب خط النظر أي :-

Reduced Level of C = Reduced Level of A+ i -D. tan α

Reduced Level of C = H.I. -Dtan α ....**(6-7)**

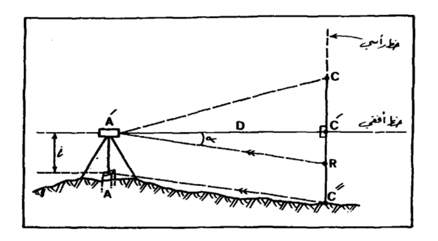


الشكل رقم-7-2

هـ- اذا لم يكن بالامكان قياس المسافة الأفقية D مباشرة فيمكن عندها قياس المسافة المائلة AC'' أو ما يعادلها ، الشكل (7-3) وذلك باختيار نقطة R على الخط الرأسي CC'' بحيث يكون $i = RC''$ فيكون طول الخط $A'R$ (الواصل بين مركز الجهاز والنقطة R) مساويا للمسافة المائلة AC'' . الآن نقيس الزاوية الرأسية α (بواسطة الثيودوليت) فتكون المسافة الأفقية D مساوية :

$$D=AC''.\text{Cos}\ \alpha=A'R.\ \text{Cos}\ \alpha \quad \text{...} \quad (7\text{-}7)$$

تقاس المسافة المائلة $A\,C''$ (أو تقاس المسافة المائلة المعادله لها $A'R$) بالشريط أو بالجهاز الالكتروني (EDM) . أما الزاوية الرأسية α فيجري قياسها بواسطة الثيودوليت بأن ترصد النقطة R على الخط الرأسي CC'' وتقرأ الدائرة الراسية للجهاز

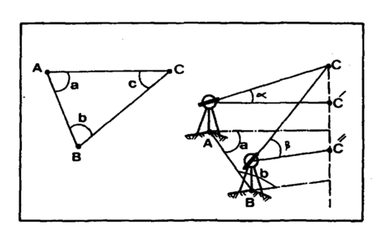


الشكل رقم 7-3-

ملحوظة

احيانا لا يمكن قياس المسافة (سواء المائلة slope Distance أو الأفقية Horizontal Distance) بين الجهاز وبين أي نقطة من الخط الرأسي CC″بسبب عدم امكانية الوصول الى الخط الرأسي ، كأن تكون نقطة C رأس متذنة ومسقطها C″ هي نقطة داخل المبنى . في هذه الحالة يمكن أن يكون الحل على الشكل التالي ، الشكل (7-4) .

1- نختار نقطة مساعدة B على مسافة مناسبة من A ومن الهدف C (لمزيد من الدقة ، يتم اختيار النقطة B بحيث يكون المثلث ABC متساوي الأضلاع تقريبا). ان الخط AB يشكل خطاً اساسياً في المثلث ABC حيث سيعتمد عليه وعلى زوايا المثلث الأفقية في حساب أطوال الأضلاع الأخرى .



الشكل رقم -7-4-

2- تقاس المسافة الأفقية للخط الأساسي AB بدقة كبيرة بواسطة الشريط أو الجهاز الالكتروني .

3- تقاس الزاويتان الأفقيتان a,b عدة مرات وبأقصى درجة ممكنة من الدقة (بواسطة الثيودوليت) ويؤخذ معدل القياسات لكل زاوية .

4- نستنتج الزاوية C من العلاقة :-

$$C=180 - (a+b) \qquad (8-7)$$

5- يطبق قانون الجيب لحساب المسافتين الأفقيتين AC,BC على الشكل التالي:-

$$\frac{AC}{\sin b}=\frac{BC}{\sin a}=\frac{AB}{\sin c} \qquad (9-7)$$

$$AC=\frac{AB}{\sin c}\sin b \qquad (10-7)$$

$$BC=\frac{AB}{\sin c}\sin a \qquad (11-7)$$

لاحظ أن الضلع AB هو خط أساسي يجري قياسه بدقة في الحقل وأن الزوايا a,b,c أصبحت جميعها معلومة سواء بالقياس أو بالاشتقاق . الآن بمعرفة المسافتين الأفقيتين AC,BC يمكن حساب منسوب الهدف C مرتين (مره باستخدام الطرف A من الخط الأساسي ومرة باستخدام الطرف الآخر B) وذلك باتباع نفس الخطوات المشروحة آنفا .

ثانيا- الحالة التي يتم فيها رصد الهدف أو (النقطة المراد تحديد منسوبها) بشكل غير مباشر.

في أغلب الحالات يتم رصد هدف يعلو النقطة المراد تحديد منسوبها وذلك نظراً لتعذر رصدها أو رؤيتها مباشرة . على سبيل المثال عند استخدام الأجهزة الالكترونية في قياس المسافات يتم تثبيت عاكس (Reflector) فوق النقطة المراد تحديد بعدها أو منسوبها ويجري رصد مركزه بدلا من النقطة ذاتها . في الفقرات التالية سنحدد مختلف العلاقات الرياضية الواجب استخدامها في مثل هذه الحالات .

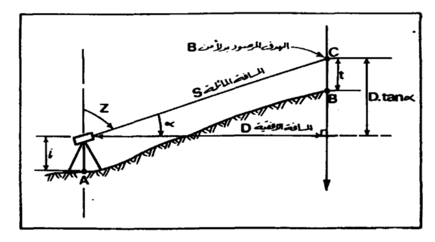
أ. الوضع الذي يكون فيه خط النظر للأعلى (الزاوية السمتية أصغر من 90°)
بملاحظة الشكل رقم **(5-7)** يمكن البرهان على صحة العلاقات الرياضية التالية

$H_B = H_A + i + D.\tan\alpha - t$

$H_B = H_A + i + D.\tan(90-Z) - t$ ....أو...................... **(12-7)**

$R.L.\ of\ B = R.L.\ of\ A + D.\tan\alpha + (i-t)$

$R.L.\ or\ B = R.L.\ of\ A + D.\tan(90-Z) + (i-t)$ ...أو...... **(13-7)**



الشكل رقم 7-5-

ب- الوضع الذي يكون فيه خط النظر للأسفل (الزاوية السمتية أكبر من °90)

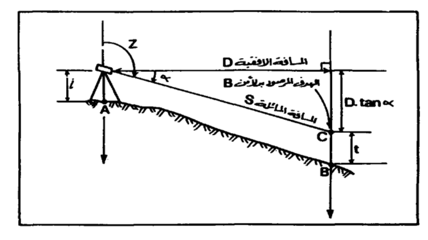
بملاحظة الشكل رقم (7-6) يمكن البرهان على العلاقات الرياضية التالية

$H_B = H_A + i - D.\tan\alpha - t$

$H_B = H_A + i - D.\tan(Z-90) - t$ ....أو......................... **(14-7)**

R.L. of B = R.L. of A - D. tan α+ (i-t)

R.L. of B = R.L. of A - D. tan (Z-90) +(i-t)...أو......... **(15-7)**



الشكل رقم -7-6-

ملحوظات :

-1 اذا قيست المسافة المائله S بدلا من المسافة الأفقية D بين محطـة االرصد والهدف المرصود ، فيمكن تطبيق العلاقات التالية في كلا الحالتين (خط النظر للأعلى وللأسفل).

$H_B - H_A = S. \cos Z + (i\text{-}t)$ .... **(16-7)**

$R.L. \text{ of } B = R.L. \text{ of } A + S \cos Z + (i\text{-}t)$ .... **(17-7)**

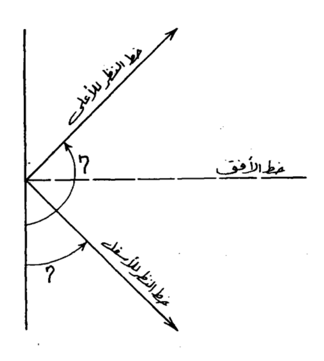
-2 اذا عرفنا الزوايا (α) تعريفاً وحيداً بالعلاقة:

$\alpha = 90° - Z$

فتكون عندئذ قيمة الزاوية (α) أكبر من الصفر اذا كان خط النظر للأعلى (الوضع أ) وبالتالي يكون $\tan \alpha$ أو $\tan (90°\text{-}Z)$ موجباً ، وتكون قيمة الزاوية (α) أصغر من الصفر اذا كان خط النظر للأسفل (الوضع ب) وبالتالي يكون $\tan \alpha$ أو $\tan (90°\text{-}Z)$ سالبا . وعليه يمكن تطبيق العلاقة الرياضية التالية في كلا الحالتين (خط النظر للأعلى وللأسفل):

$R.L. \text{of} B = R.L. \text{ of } A + D. \tan \alpha + i - t$ .... **(18-7)**

-3 اذا قيست الزاوية النظيرية η الشكل **(7-7)** عوضاً عن قياس الزاوية السمتية Z فانه بتعريف الزاوية (α) بالعلاقة : $\alpha = \eta - 90°$ يمكن عندئذ تطبيق نفس العلاقة الرياضية ، أي : **(18-7)** .



الشكل -7-7- الزاوية النظيرية η

7-3- تحديد ارتفاعات ومناسيب الأهداف أو النقاط البعيدة مع اعتبار تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة ،[م33] .

عندما تكون الأهداف أو النقاط المراد تحديد مناسيبها بعيدة (أكثر من نحو 500m) فانه يصعب – في الغالب – رصد هذه النقاط بشكل مباشر ، لذلك سيقتصر الشرح هنا على الأوضاع التي يجري فيها رصد هدف أو نقطة تعلو النقطة المراد تحديد منسوبها .

أ. حالة خط النظر للأعلى (الزاوية السمتية أصغر من (90°)

بملاحظة الشكل (7-8) يمكن البرهان على صحة العلاقات الرياضية التالية :-

$$H_B - H_A = i + h_c + D.\tan\alpha - h_r - t \quad \text{.......} \quad \textbf{(19-7)}$$

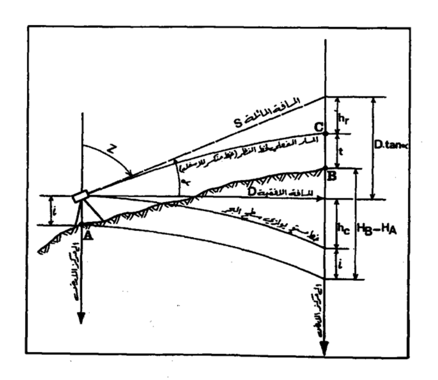
$$H_B - H_A = i + h_c + D.\tan(90-Z) - h_r - t \quad \text{.......} \quad \textbf{(20-7)}$$

$$R.L.of\ B - R.L.\ of\ A = i + h_c + D.\tan\alpha - h_r - t \quad \text{.......} \quad \textbf{(21-7)}$$

$$R.L.of\ B - R.L.\ of\ A = i + h_c + D.\tan(90-Z) - hr - t \quad \text{.......} \quad \textbf{(22-7)}$$

$$R.L.of\ B - R.L.\ of\ A = D.\tan\alpha + (i-t) + (h_c - h_r) \quad \text{.......} \quad \textbf{(23-7)}$$

$$R.L.\ of\ B = R.L.\ of\ A + D.\tan(90-Z) + (i-t) + (h_c - h_r) \quad \text{......} \quad \textbf{(24-7)}$$



الشكل رقم -7-8-

ب- حالة خط النظر للأسفل (الزاوية السمتية أكبر من 90°) ، الشكل (7-9) وهنا يمكن أيضاً البرهان على صحة العلاقات الرياضية التالية :-

$H_A - H_B = t + h_r + D.\tan\alpha - h_c - i$ .... (25-7)

$H_B - H_A = h_c + i - t - h_r - D.\tan\alpha$ .... (26-7)

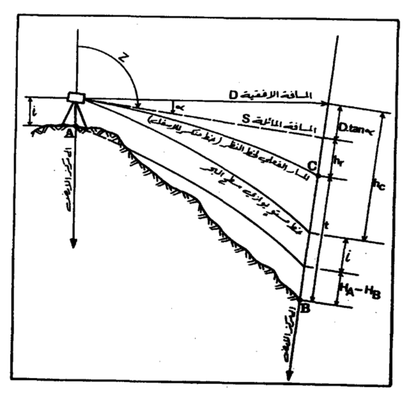
$H_B - H_A = h_c + i - t - h_r - D.\tan(Z-90°)$ أو .... (27-7)

$R.L.of B - R.L. of A = h_c + i - t - h_r - D.\tan\alpha$ .... (28-7)

$R.L.of B - R.L. of A = h_c + i - t - h_r - D.\tan(Z-90°)$ أو (29-7)

$R.L.of B - R.L. of A - D.\tan\alpha + (i-t) + (h_c - h_r)$ .... (30-7)

$R.L. of B = R.L. of A - D.\tan(Z-90) + (i-t) + (h_c - h_r)$ أو..(31-7)



الشكل رقم-7-9-

ملحوظة :-

كثيراً ما تقاس المسافة المائلة S بدلا من المسافة الأفقية D بين محطة الرصد والهدف المرصود وخاصة عند استخدام أجهزة قياس المسافة الالكترونية (EDM). في هذه الحالة يمكن تطبيق العلاقات التالية في كلا الحالتين : خط النظر للأعلى (الزاوية السمتية Z أصغر من 90°) وخط النظر للأسفل (الزاوية السمتية Z أكبر من 90°).

$$H_B - H_A = S.\cos Z + (i-t)+(h_c - h_r) \quad (32-7)$$

$$R.L.\ of\ B - R.L.\ of\ A = S.\cos Z + (i-t)+(h_c - h_r) \quad (33-7)$$

$$R.L.\ of\ B = R.L.\ of\ A + S.\cos Z + (i-t)+(h_c - h_r) \quad (34-7)$$

مثال رقم -7-1-

لتعيين منسوب رأس المئذنة C ، تم اختيار الخط الأساسي AB ، الشكل (7-4) بجوار المئذنة وقيس طوله بدقة بواسطة الشريط فوجد مساوياً 112.275m وثبت جهاز ثيودوليت في النقطة A وقيست الزاوية الرأسية α بين رأس المئذنة ومركز الجهاز أربع مرات فوجدت:

$4° 20' 10''$, $4° 20' 00''$, $4° 20' 00''$, $4° 20' 00''$

ثم قيست الزاوية الأفقية a أربع مرات فوجدت :

$63° 40' 30''$, $63° 40' 30''$, $63° 40' 20''$, $63° 40' 30''$

نقل الجهاز الى الطرف الآخر B من خط الأساسي ، وبعد ضبطه قيست الزاوية الرأسية β بين رأس المئذنة ومركز الجهاز أربع مرات فوجدت :

$3° 30' 40''$, $3° 30' 40''$, $3° 30' 30''$, $3° 30' 30''$

ثم قيست الزاوية الأفقية b أربع مرات فوجدت :

$59° 20' 15''$, $59° 20' 20''$, $59° 20' 20''$, $59° 20' 20''$,

فـإذا علمت أن منسوب النقطـة A يسـاوي 1010,178m وارتفـاع مركـز الجهـاز (الثيودوليت) فوقها يسـاوي 1.52m وأن منسـوب النقطـة B يساوي 1011.492m وارتفاع مركز الجهاز فوقها يساوي 1.55m فما هـو منسوب نقطة رأس المئذنة C ؟.

الحـــــــل :

الزاوية الرأسية α تساوي :-

$$\frac{4° 20' 10'' + 4° 20' 00'' + 4° 20' 00'' + 4° 20' 00''}{4} = 4° 20' 2.5''$$

الزاوية الرأسية β تساوي :

$$\frac{3° 30' 40'' + 3° 30' 40'' + 3° 30' 30'' + 3° 30' 30''}{4} = 3° 30' 27.5''$$

الزاوية الأفقية a تساوي :

$$\frac{63° 40' 30'' + 63° 40' 30'' + 63° 40' 20'' + 63° 40' 30''}{4} = 63° 40' 27.5''$$

الزاوية الأفقية b تساوي :

$$\frac{59° 20' 15'' + 59° 20' 20'' + 59° 20' 20'' + 59° 20' 20''}{4} = 59° 20' 18.75''$$

الزاوية الأفقية c تساوي :

$$180° - (63° 40' 27.5'' + 59° 20' 18.75'') = 56° 59' 13.75''$$

المسافة الأفقية AC تساوي :

$$AC=\frac{AB}{\text{Sin c}}\text{Sin b} = \frac{112.275}{\text{Sin } 56^\circ\ 59'\ 13.75''}\ \text{Sin } 59^\circ\ 20'\ 18.75''$$

$AC = 115.173m$

المسافة الأفقية BC تساوي :

$$BC=\frac{AB}{\text{Sin c}}\text{Sin a} = \frac{112.275}{\text{Sin } 56^\circ\ 59'\ 13.75''}\ \text{Sin } 63^\circ\ 40'\ 27.5''$$

$BC = 120.006m$

منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز .H.I عند النقطة A يساوي :

$$H.I._A = R.L.\ of\ A + i_A$$

حيث ترمز i_A الى ارتفاع الجهاز فوق النقطة A .

$$H.I._A = 1010.178 + 1.52 = 1011.698m$$

منسوب رأس المئذنة C يساوي :

$$R.L.\ of\ C = H.I._A + AC.\ \tan\alpha$$

$$R.L.\ of\ C = 1011.698+115.173\ \tan(\ 4^\circ\ 20'\ 2.5'')$$

$$R.L.\ of\ C = 1020.427m$$

منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز .H.I عند النقطة B يساوي .

$$H.I._B = R.L.\ of\ B + i_B$$

حيث ترمز i_B الى ارتفاع الجهاز فوق النقطة B.

$H.I._B = 1011.492+1.55 = 1013.042m$

منسوب رأس المئذنة C يساوي :

$R.L.\ of\ C = H.I._B + BC.\tan\beta$

$R.L.\ of\ C = 1013.042 + 120.006 \tan(3°\ 30'\ 35'')$

$R.L.\ of\ C = 1020.402m$

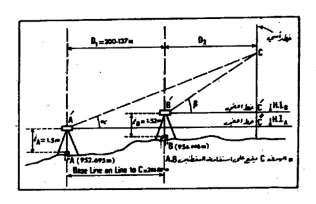
وعليه فان منسوب رأس المئذنة يساوي متوسط القيمتن المحسوبتين من المحطتين A,B أي :

$$Reduced\ Level\ of\ C = \frac{1020.427 + 1020.402}{2}$$

$Reduced\ Level\ of\ C = 1020.415m$

مثال رقم -7-2-

لتعيين منسوب الهدف C ، الشكل (7-10) استعين بالنقطة A ذات المنسوب 925.695m حيث ثبت جهاز الثيودوليت فوقها وعلى ارتفاع i_A يساوي 1.50m وقيست الزاوية الرأسية α بين الهدف ومركز الجهاز A' فوجدت مساوية $5°\ 20'\ 10''$ بسبب تعذر قياس المسافة الأفقية بين النقطة A والهدف C ، نقل الجهاز وثبت على ارتفاع 1.52m فوق نقطة اخرى B منسوبها 954.006 وتقع على استقامة أو نفس اتجاه الخط AC (أي أن B تقع على نفس المستوى الرأسي المار بالنقطة A والهدف C) . بعد ضبط الجهاز قيست الزاوية الرأسية β بين نفس الهدف C ومركز الجهاز B فوجدت مساوية $6°\ 10'\ 30''$ فاذا علمت أن المسافة الأفقية بين موقعي الجهاز A,B بلغت 200.137m فكم يكون منسوب الهدف C ؟



الشكل رقم-7-10-

الحـــــل :

دعنا نرمز أولا للمسافة الأفقية AB بـ D_1 وللمسافة الأفقية BC بـــ D_2

من الشكل (7-10) لدينا :

$$CC' = D_2 . \tan\beta$$

$$D_2 = \frac{CC'}{\tan\beta}$$

ولدينا ايضاً

$$CC' + C'C'' = (D_1 + D_2)\tan\alpha$$

وعليه

$$CC' + C'C'' = (D_1 + \frac{CC'}{\tan\beta})\tan\alpha$$

$$CC' - (\frac{CC'}{\tan\beta})\tan\alpha = D_1\tan\alpha - C'C''$$

$$CC'(1 - \frac{\tan\alpha}{\tan\beta}) = D_1\tan\alpha - C'C''$$

$$CC' = \frac{D_1 \tan\alpha - C'C''}{1 - \frac{\tan\alpha}{\tan\beta}}$$

ان $C'C''$ تعبر عن فـرق المنسـوب بيـن خـط النظـر الأفقـي المـار بمركز الجهاز B' وخط النظر الأفقي المار بمركز الجهاز A' ، أي أن :

$$C'C'' = H.I._B - H.I._A$$

حيث نرمز $H.I._A$ إلى منسوب خط النظر الأفقي المار بمركز الجهاز A' وترمز $H.I._B$ الى منسوب خط النظر المار بمركز الجهاز B' وبالتالي :

$$C'C'' = (i_B + R.L.\ of\ B) - (i_A + R.L.\ of\ A)$$

$$C'C'' = (1.52+954.006)-(1.5+952.695) = 1.331m$$

(وبالقياس)

$$D_1 = 200.137m$$

$$\tan\alpha = \tan 5°\ 20'\ 10'' = 0.0934029$$

$$\tan\beta = \tan 6°\ 10'\ 30'' = 0.1081933$$

وعليه :

$$C\,C' = \frac{200.137(0.0934029) - 1.331}{1 - \frac{0.0934029}{0.1081933}}$$

$$CC' = \frac{17.362376}{0.1367034} = 127.008m$$

الآن منسوب الهدف C يساوي :

$$R.L.\ of\ C = H.I._A + CC'' = H.I._A + CC' + C'C''$$

$$R.L.\ of\ C = (1.5+952.695)+127.008+1.331$$

$$R.L.\ of\ C = 1082.534m$$

أو :

$$R.L.\ of\ C = H.I._B + CC'$$

$$R.L.\ of\ C = (1.52+954.006)+127.008$$

$$R.L.\ of\ C = 1082.534m$$

مثال رقم -7-3-

في الشكل (7-5) المطلوب ايجاد منسوب (.R.L) النقطة B اذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 102.654m ، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي 305.15m، الزاوية السمتية Z تساوي $62° 20' 30''$ ارتفاع جهاز الرصد فوق النقطة A يساوي : i=1.56m وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة B يساوي t=1.50m.

الحـــل:

R.L. of B=R.L. of A+D. tan (90-Z)+(i-t)

R.L. of B = 102.654+305.125 tan ($90° - 62° 20' 30''$) +(1.56-1.5)

R.L. of B = 102.654+159.911+1.56-1.5

R.L. of B=262.625m.

مثال رقم -7-4-

في الشـكل (7-6) المطلوب ايجاد منسوب (R.L) النقطة A اذا علمت أن منسوب النقطة B يساوي : 1136.359m وأن المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي : 175.193m ، الزاوية السمتية Z تساوي : $115° 10' 30''$ ، ارتفاع جهاز الرصد فوق النقطة B يساوي : 1.50m.

الحـــل :

R.L. of B = R.L. of A-D tan (Z-90°) + (i-t)

1136.359=R.L. of A-175.193 tan ($115° 10' 30''-90°$) + (1.58-1.5)

1136.359 = R.L. of A-82.346+0.08

R.L. of A = 1218.625m

مثال رقم -7-5-

في الشكل (7-8) المطلوب ايجاد منسوب (.R.L) النقطة B اذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 810,165m ، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي 1620,683m الزاوية السمتية Z تساوي : $61° 39' 30''$ ، ارتفاع الجهاز فوق النقطة A يساوي : i=1.5m وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة B يساوي : t=1.65m.

الحل :

$$R.L. of B - R.L. of A = D.\tan(90-Z) + (i-t) + (h_c - h_r)$$

$$R.L. of B = 810.165 + 1620.683 \tan(90° - 61° 39'30'') + (1.5 - 1.65) + 0.0673(1.620683)^2$$

$$R.L. of B = 1684.36m$$

لاحظ أن المقدار (h_c-h_r) يساوي $0.0673D^2$ حيث D تمثل المسافة الأفقية بين الجهاز والهدف بالكيلومتر والنتيجة بالمتر .

مثال رقم -7-6-

في الشكل (7-9) المطلوب ايجاد منسوب النقطة B اذا علمت أن منسوب النقطة A يساوي 810.165، المسافة الأفقية D بين النقطتين A,B تساوي : 1620.683، الزاوية السمتية Z تساوي : $118° 20' 30''$ ، ارتفاع الجهاز فوق النقطة A يساوي : i=1.50m وارتفاع الهدف المرصود فوق النقطة A يساوي : t=1.65

الحل :

$$R.L. of B - R.L. of A = D.\tan(Z-90) + (i-t) + (h_c - h_r)$$

$$R.L. of B = 810.165 - 1620.683 \tan(118° 20' 30'' - 90°) + (1.5 - 1.65) + 0.0673(1.620683)^2$$

$$R.L. of B = 810.165 - 874.16878 - 0.15 + 0.17677$$

$$R.L. of B = -63.98m$$

ملحوظات :

لقد أهملنا في حساب الأمثلة عدا المثالين (5-7),(6-7) تأثير انحناء الأرض (Earth Curvature) وانكسار الأشعة (Refraction) بافتراض أن خطوط القياس أو النظر (Lines of Sight) قصيرة اذ لا يتعدى هذا التأثير مقدار 7 cm في خط نظر طوله كيلومتر واحد . على كل حال اذا أريد أخذ هذا التأثير بعين الاعتبار فيكفي أن نضيف الى المنسوب المحسوب للنقطة المرصودة المقدار : $0.0673\ D^2 m$ باعتبار D المسافة الأفقية لخط الرصد أو النظر بالكيلومتر . على سبيل المثال اذا كان طول المسقط الأفقي (أو المسافة الأفقية) لخط النظر الواصل بين جهاز الرصد والهدف مساوياً 1 km فان تأثير انحناء الأرض وانكسار الاشعة يساوي :

$0.0673(1)^2 = 0.06773m = 7\ cm$

وهذا هو المقدار الواجب اضافته الى المنسوب المحسوب للهدف .

لاحظ أن تأثير الانكسار وانحناء الأرض معاً (Combined Effect) (يضاف دائماً ولا يطرح.

يمكن التغلب على تأثير الانكسار وانحناء الأرض بأن يجري الرصد من كلا النقطتين (أي من طرفي خط النظر) في آن واحد ثم أخذ معدل الزوايا الرأسية المقيسة من تلك النقطتين . ولتعذر القيام بذلك في جميع الأحوال ، يجب اجراء التصحيح اللازم حسب شروط العمل ومتطلباته .

مسائل

(1-7) اذكر العوامل التي تؤثر في دقة المناسيب المستخرجة بطريقة التسوية المثلثية ؟

(2-7) في أي الأحوال يمكن اهمال تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة في حساب مناسيب النقاط الأرضية بطريقة التسوية المثلثية ؟

(3-7) اذا كانت الزاوية النظرية (η) تساوي (4.12) راديان (Radian) فكم يكون مقدار الزاوية السمتية في كلا النظامين الستيني والمئوي؟

(4-7) بافتراض أن نقطة الرصد هي (A) والهدف المرصود هو (C) ويقع رأسياً فوق نقطة معينة (B) وكذلك :

i=1.60m, t=0.57m
S=117.625m, η = 32°
R.L. of A = - 132.623m

المطلوب حساب منسوب النقطة (B)

(5-7) بافتراض أن نقطة الرصد هي (A) والهدف المرصود هو (C) ويقع رأسياً فوق نقطة معينة (B) وكذلك :

i=1.55m, t=0.60m, $h_c - h_r = 0.15$m
Z=113°, S = 71.654m
R.L. of B =63.125m

المطلوب حساب منسوب النقطة (A)

(6-7) اذا كان طول المسقط الأفقي لخط النظر الواصل بين جهاز الرصد والهدف مساوياً 0.5Km فكم يكون مقدار تأثير انحناء الأرض ؟

(7-7) بافتراض المعلومات الواردة في المسألة (7-6)، المطلـوب حسـاب مقدار تأثير انحناء الأرض وانكسار الأشعة معا؟

(7-8) كيف يمكن التغلب على تأثير انكسار الأشعة وانحناء الأرض ؟

(7-9) اذكر خمسة مجـالات يحتـاج فيها المهندس إلـى أجـراء التسـوية المثلثية ؟

(7-10) هل يمكن اللجوء إلى التسوية المثلثيـة فـي مشـاريع أقنيـة الـري ؟ علل ذلك ، متى نلجأ إلى أعمال التسوية المثلثية في مشاريع الـري ؟

(7-11) ما هي الفروق الأساسية بين مشاريع الطرق ومشاريع أقنية الـري من حيث استخدامات التسوية المثلثية ؟

- 8 -

- الفصل الثامن -

أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية

PROFILE AND CROSS-SECTION LEVELLING

8- أعمال التسوية للمقاطع الطولية والعرضية
Profile and Cross – Section Levelling
8-1- مقدمة (Introduction)

في مشاريع الطرق وأقنية الري وتمديدات شبكات المياه والمجاري وخطوط السكك الحديدية وغيرها ، يلزم بيان طبيعة أو تضاريس سطح الأرض في اتجاه معين وذلك لغايات التصميم وحساب الكميات وأغراض أخرى . من أجل ذلك يجري أولاً تحديد مواقع النقاط على الاتجاه المفروض أو المعطى ليصار إلى قياس مناسيبها . تتفاوت المسافة بين نقطة وأخرى (على الاتجاه المفروض) وذلك حسب طبوغرافية الأرض والغرض من المشروع أو درجة الدقة المطلوبة . على كل حال ، أن دور المساح يقتصر هنا على قياس مناسيب النقاط التي تم اختيارها أو تحديد المسافات بينها من قبل المهندس المصمم أو المختص . ليس من الضروري أن تقع النقاط المراد قياس مناسيبها على خط واحد أو اتجاه واحد بل ربما تقع على عدة خطوط مستقيمة أو منحنية أو مستقيمة ومنحنية معاً كما هو الحال في مشاريع الطرق والسكك الحديدية وأقنية الري على سبيل المثال . من الضروري قبل البدء في قياس مناسيب النقاط المختلفة على محور مشروع معين ، أن نبحث عن علامة منسوب دقيقة بالقرب من بداية المشروع كي نستند عليها في حساب المناسيب . كذلك من المفيد جداً أن نبحث عن علامات مناسيب أخرى تقع على مقربة من محور المشروع وذلك لغايات التدقيق على صحة المناسيب المحسوبة . إذا لم توجد علامات مناسيب أخرى بجوار المشروع فيكتفى بالبحث عن علامة منسوب واحدة بالقرب من نهاية المشروع واستخدامها في عملية التدقيق أو التحقق من صحة المناسيب .

سنبين في الفقرة التالية الخطوات الضرورية لعمل المقاطع الطولية وخاصة لمحور طريق تمَّ تحديد اتجاهات أجزائه المختلفة بشكل مسبق وحسب التخطيط المقترح ، [م51] .

2-8- خطوات عمل مقطع طولي لمحور طريق ما مقترح

1- يجري التعرف إلى نقطة بداية المشروع ليتم تحديدها جيدا في الطبيعة .

2- ننشئ علامة منسوب (B.M.) دائمة أو مؤقتة قرب نقطة بداية المشروع كي نستند إليهما في حساب مناسيب النقاط المختارة على طول محور مشروع الطريق.

3- نختار موقعا ثابتا مشرفا لجهاز التسوية (Level) قرب علامة المنسوب المعلومة أو المفروضة الارتفاع .

4- تثبت المسطرة رأسيا فوق علامة المنسوب وترصد من جهاز التسوية بعد ضبطه تماما وتسجل القراءة في عمود القراءات الخلفية . بمعرفة القراءة الخلفية هذه وارتفاع علامة المنسوب يحسب منسوب خط النظر أو ارتفاع الجهاز (H.I.) .

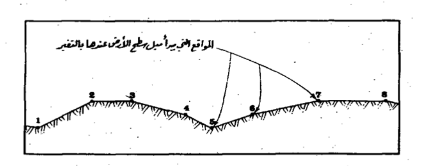
5- تحرك المسطرة إلى نقطة بداية المشروع وإلى نقاط أخرى محددة سلفا أو يجري اختيارها عند مواقع تغير الميل (الانحدار) في سطح الأرض على الاتجاه أو المحور المعتبر ، شكل (8-1) ، من الواضح أنه إذا أمكن رصد هذه النقاط من نفس الموقع السابق للجهاز فتسجل القراءات في عمود القراءات المتوسطة وإذا تعذر الرصد من نفس موقع الجهاز السابق لنقاط أخرى فأنه يجري اختيار نقطة تحول إما على موقع صلب ثابت بجوار محور الطريق أو باعتماد نقطة مناسبة على نفس المحور . من المفضل أن تكون نقطة التحول واقعة على خط المشروع (المحور) نفسه .

6- تنقل المسطرة إلى نقطة التحول المناسبة وتؤخذ عليها القراءة وتسجل في عمود القراءات الأمامية ويعطي الإيعاز لحامل المسطرة بالثبات في نقطة التحول هذه .

7- ينقل الجهاز إلى موقع مشرف مناسب جديد وبعد ضبطه تؤخذ القراءة على المسطرة فوق نقطة التحول وتسجل في عمود القراءات الخلفية .

8- تحرك المسطرة إلى نقطة أو مجموعة نقاط أخرى محددة أو تحدد على محور الطريق وتؤخذ القراءات عليها وتسجل في عمود القراءات المتوسطة وإذا

تعذر رصد نقاط أخرى من نفس موقع الجهاز الحالي فيجري اختيـــار نقطــة تحول جديدة بجوار محور الطريق أو باختيار نقطة مناسبة على المحور ذاته .



شكل (8-1-) مواقع النقاط التي يجري قياس مناسيبها لرسم المقطع الطولي لجزء من محور مشروع معين .

9- تنقل المسطرة إلى نقطة التحول الجديدة وتؤخذ عليها القراءة وتسجل في عمود القراءات الأمامية ويعطي الإيعاز لحامل المسطرة بالثبات في نقطـــة التحـــول هذه.

10- ينقل الجهاز إلى موقع مشرف مناسب جديد ونستمر العمل بنفس الأســـلوب إلى أن يجري رصد آخر نقطة من محور الطريق .

11- بعد رصد النقطة الأخيرة من محور الطريق نستمر بالعمل حتى الوصول إلى علامة منسوب قريبة آخذين بعين الاعتبار أنه لن تكون حاجة الآن إلا إلـــى قراءات أمامية وأخرى خلفية على نقاط تحول يجري اختيارها بيـــن نقطـــة نهاية المشروع ونقطة علامة منسوب قريبة بـــهدف التحقـــق مـــن صحـــة المناسيب المقيسة كما مر معنا آنفاً .

ملحوظات :

أ- يراعي أن تكون المواقع المختارة لتثبيت الجهاز مشرفة بحيث تمكن من رصـــد أكبر عدد ممكن من النقاط على محور المشروع .

ب- يجب تحديد ووصف نقاط التحول بشكل جيد وعمل كروكي لكل منـــها كـــي يمكن الرجوع إليها بسهولة وإجراء التدقيق اللازم إذا لزم الأمر .

كذلك يفضل أن تنشأ نقاط التحول على يمين أو يسار محـــور المشـــروع بحيث لا تتعرض لأعمال الحفريات والردميات التي ستجري على المشروع .

ج- تحدد المسافة الجزئية بين نقطة وأخرى على محـــور الطريـــق بنـــاء علـــى تضاريس سطح الأرض ودرجة الدقة المطلوبة . تتراوح هذه المسافة عادة بين 10-50m وأن كان المقدار 20-30m هو السائد عملياً .

د- تسجل في عمود خاص من جدول قياس الارتفاعات ، المسافة بين نقطة بدايـــة محور الطريق وكل نقطة من النقاط المختارة والمقاس منسوبها على محـــــور الطريق . يطلق على المسافة التراكمية أو الكلية من بداية المحور حتى النقطـة المعتبرة بـــ (Chainage) .

هـــ- تسجل في عمود خاص من جدول قياس الارتفاعات ، الاتجاهات الأماميـــة والخلفية لمختلف أجزاء الطريق . أن هذا البند ليس ضروريـــاً فـــي عمـــل المقاطع الطولية إذ يمكن تنفيذه في مرحلة سابقة مستقلة خاصة عند تحديـــد مسار الطريق .

و- من المفضل أثناء عمل المقاطع الطولية ، تحديد مواقـــع التفـــاصيل الهامـــة (كالوديان والأنهار والطرق والممرات المختلفـــة) التـــي قـــد تقطـــع محـــور المشروع.

ز- يجب قراءة المسطرة على علامات المناسيب ونقاط التحول بدقة فائقة ولأقرب مليمتر واحد . أما النقاط المتوسطة فيكفي أخذ القراءة لأقرب سنتمتر واحد .

ح- لا تنس أن يكون بعد الجهاز عن نقطة القراءة الأمامية مساوياً تقريبـــاً لبعـــد الجهاز عن نقطة القراءة الخلفية وكذلك أن لا تزيد هذه المسافة (طـــول خـــط النظر) عن مئة متر تقريباً .

ط- ينقل جهاز التسوية من موقع لآخر لسببين رئيسين : السبب الأول عندمـــا لا تسمح تضاريس الأرض برؤية المسطرة والسبب الثاني عندما تزيد مسافة خط النظر (المسافة بين الجهاز والمسطرة) عن مئة متر تقريباً .

ي- تأكد أن فقاعة التسوية وسط مجراها عند رصد المسطرة في كل نقطـــة مـــن النقاط وخاصة عند أخذ القراءات الأمامية والخلفية .

ق- إذا كانت هناك علامة منسوب (.B.m) دائمة وقريبة من نهاية المقطع الطولي للمشروع فيجب الاستمرار في قياس الارتفاعات حتى الوصول لتلك النقطـــة وذلك للتحقق من صحة العمل وهنا يجب أن يكـــون الفـــرق بيـــن مجمـــوع القراءات الخلفية والقراءات الأمامية متفقاً مع الفرق بين ارتفـــاعي علامتـــي المنسوب الدائمتين الأولى والأخيرة ضمن الحدود المسموحة للخطأ والذي مر معنا سابقاً ، أي :

مجموع القراءات الخلفية – مجموع القراءات الأمامية = ارتفاع علامة المنســـوب الأخيرة – ارتفاع علامة المنسوب الأولى ± مقدار الخطأ المسموح .

أما إذا لم تكن هناك علامة منسوب دائمة وقريبة من نهاية المقطع الطولـــي للمشروع فيفضل أن يتم تحقيق صحة العمل من خلال العودة ثانية إلـــى علامـــة المنسوب الأولى .

نلاحظ هنا أنه إذا كان المقطع الطولي طويلاً فإن عمليـــة التحقيـــق هـــذه ستكون مرهقة لذلك وفي مثل هذه الحالة يجري تقسيم المقطع الطولي إلى أجـــزاء معتدلة الطول ومن ثم أجزاء التحقيق على كل جزء مباشرة بعـــد إتمـــام قيـــاس ارتفاعات نقاطه وقبل البدء بقياس ارتفاعات الجزء الذي يليه . كما أنه يمكـــن أن تقتصر عملية التحقيق هذه على قياس ارتفاعات نقاط التحول الممتدة بيـــن نهايـــة الجزء وبدايته .

ل- في الحالة التي يكون فيها محور الطريق طويلاً ولا تتوفر علامات مناســـيب بالقرب منه لإجراء التدقيق اللازم ، فينصح باللجوء إلى استخدام نقاط تحـــول مضاعفة أي يجري اختيار نقطتي تحول قريبتين من بعضهما بدلاً من نقطـــة تحول واحدة وبالتالي فإنه يجري أخذ قراءتين أماميتين وقراءتين خلفيتين مـــن كل موقع جديد للجهاز . باختيار نقطتي تحول بدلاً من نقطة واحدة كلما احتـاج الأمر إلى تغيير موقع الجهاز ، يمكن حساب منسوب خـــط النظـــر مرتيـــن باستخدام قراءات مختلفة . أن تطابق القيمتين أو الاختلاف بمقدار بسيط يقـــع

في مجال الخطأ المسموح يعني صحة العمل وفي حالة عدم التطابق أو الاختلاف الكبير فيجري إعادة القياسات . لأحظ أنه يمكن باستخدام هذه الطريقة التحقق من صحة العمل أولاً بأول وبشكل يوازي تقدم العمل .

شكل (8-2) ، وجدول (8-1) يبيان مثالاً على طريقة أجزاء القياسات وتدوينها وحساب المناسيب الخاصة بمقطع لمحور طريق معين .

8-2-1- رسم المقطع الطولي :

لرسم المقطع الطولي يمكن اتباع الخطوات التالية :

1- نختار مقياساً مناسباً للمسافات الأفقية بين مختلف نقاط المقطع ومقياساً آخر لتمثيل ارتفاعات النقاط . حيث أن الغاية هي بيان وتوضيح شكل الأرض على طول المقطع وأن فروق الارتفاعات بين النقاط هي في الغالب أقل من المسافات الأفقية بينها ، لذا فإن المقياس الرأسي (لتمثيل ارتفاعات النقاط) يؤخذ عادة أكبر من المقياس الأفقي بعشرة أضعاف (أحياناً خمسة أضعاف فقط) . من المقاييس الأفقية المناسبة :

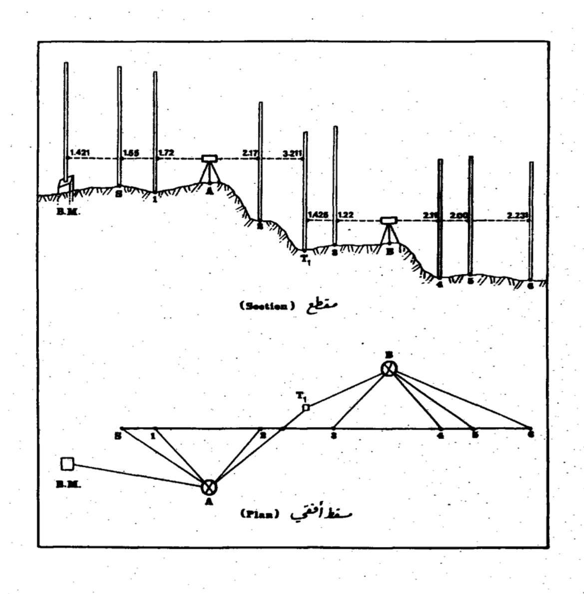
1:500, 1 : 1000 , 1 : 2000

ومن المقاييس الرأسية المناسبة :

1 : 50 , 1 : 100 , 1 : 200

2- نرسم في موقع مناسب على لوحة خاصة (ورق مليمتري) خطاً أفقياً ليكون بمثابة مرجع لرسم ارتفاعات النقاط المختلفة ويفضل إعطائه قيمة مناسبة بحيث يكون بعد أي نقطة من نقاط المقطع الطولي (بعد رسمها) عن هذا الخط ما بين 5-20cm تقريباً ، شكل (8-3) .

3- نرسم خطاً أفقياً ثانياً أسفل الخط المرجعي المذكور أعلاه ونحدد عليه (بمقياس الرسم الأفقي المختار) مواقع نقاط المقطع الطولي . يكتب بجوار كل نقطة على هذا الخط وبشكل أفقي مقدار المسافة الأفقية بينها وبين نقطة بداية المشروع . كذلك نكتب بجوار كل نقطة وبشكل عمودي ارتفاعها كما ورد في جدول التسوية.



شكل -8-2- قياس ارتفاعات نقاط على جزء مستقيم من محور طريق مقترح بغرض رسم المقطع الطولي له ، [م51] .

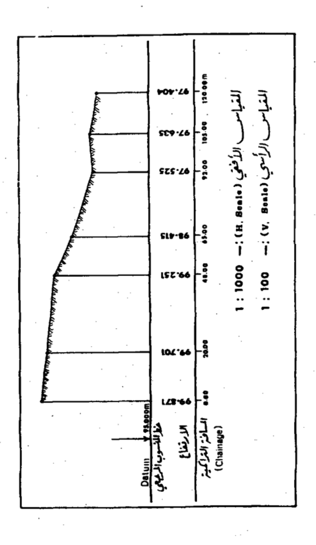
4- بمعرفة ارتفاع كل نقطة يجري الآن رسم مواقع هـــذه النقـــاط فـــي الاتجـــاه العمودي على خط المسافات ونصل بين كل زوج من هذه النقاط فيتشكل لدينـــا الخط الممثل لشكل سطح الأرض وفق محور الطريق أو المشروع المعتبر .

Point No.	Distance or Chainage (m)	B. S. (m)	I. S. (m)	F. S. (m)	H. I. (m)	R. L. (m)	Remarks
B. M.		1.421			101.421	100	Bench Mark, 100 m above M. S. L.
S	00.00		1.55			99.871	نقطة بداية محور الطريق
1	20.00		1.72			99.701	نقطة على محور الطريق
2	48.00		2.17			99.251	نقطة على محور الطريق
T_1		1.425		3.211	99.635	98.210	نقطة تحول بجوار محور الطريق
3	65.00		1.22			98.415	نقطة على محور الطريق
4	92.00		2.11			97.525	نقطة على محور الطريق
5	105.00		2.00			97.635	نقطة على محور الطريق
6	120.00			2.231		97.404	نقطة على محور الطريق
		2.846		5.442			

جدول رقم -8-1- أحد النماذج لتدوين القراءات وحساب المناسيب لأعمال المقاطع الطولية .

ملحوظات :

أ- استناداً إلى المقطع الطولي المرسوم بناء على المسافات الأفقية والارتفاعات المقيسة حقلياً ، يقوم المهندس المصمم برسم محور الطريق أو المشروع المعتبر وفق الميول الفعلية التي سيأخذها عند انتهاء التنفيذ . بهذا يمكن معرفة عمق الحفر أو الردم اللازم عند كل نقطة من محور المشروع .



شكل 3-8- رسم المقطع الطولي لجزء من محور طريق

ب- عند رسم المقاطع الطولية بشكل نهائي بحيث تظهر مختلف الميول وأعماق الحفر والردم ومعلومات تصميمية أخرى ، ستضاف خطوط أفقية أخرى إضافة إلى خط المنسوب المرجعي وخط المسافات ، وذلك لإظهار المعلومات المختلفة واللازمة لأغراض حساب الكميات وتمديدات أنابيب تصريف المياه وغيرها ، شكل (8-4) .

أن هذه التفاصيل وطرق إبرازها على اللوحة هي من صميم موضوع هندسة الطرق وعليه لا أرى ضرورة لشرح المزيد .

المسافة التراكمية (CHAINAGE m)	منسوب الأرض الطبيعية (REDUCED LEVELS)	منسوب طبقة التأسيس للطريق المقترح (FORMATION LEVELS)	عمق الحفر (CUT)	عمق الطمم (FILL)
120.0	114.33	112.50	1.63	
108.4	113.58	112.27	1.31	
90.0	110.53	111.90		1.37
84.0	110.04	111.78		1.74
67.2	111.71	111.44	0.27	
60.0	110.92	111.30		0.38
48.9	110.03	111.30		1.27
38.7	111.91	111.30	0.61	
30.0	112.33	111.30	1.03	
12.4	114.36	111.40	2.68	
0.0	112.52	111.40	0.92	

شكل 4-8- نموذج لرسم مقطع طولي من طريق ، [م51] .

8-2-2- فوائد عمل المقاطع الطولية

من أهم الفوائد العملية لأعمال المقاطع الطولية ما يلي :

أ- تعين مهندس التصميم على اختيار أفضل الميول والمناسيب لأجزاء الطريق أو المشروع المزمع تنفيذه .

ب- معرفة أعماق الحفر والردم اللازمة عند أي نقطة من خط المشروع .

ج- معرفة أماكن تقاطع خط التصميم مع سطح الأرض الطبيعية (Intersection of Gradients) ، أي مواقع النقاط التي لا يحصل فيها حفر أو طمم .

د- للكشف عن إمكانية رؤية المواقع المحيطة والبعيدة من نقاط معينة . أن هذا يفيد في كثير من الأغراض العسكرية والعمرانية حيث تحدد المواقع المخفية والمواقع المرئية بالنسبة لمنشآت معينة أو نقاط رصد محددة (مواقع مدفعية على سبيل المثال) .

8-3- أعمال التسوية للمقاطع العرضية
(Cross – Section Levelling)

8-3-1- مقدمة (Introduction)

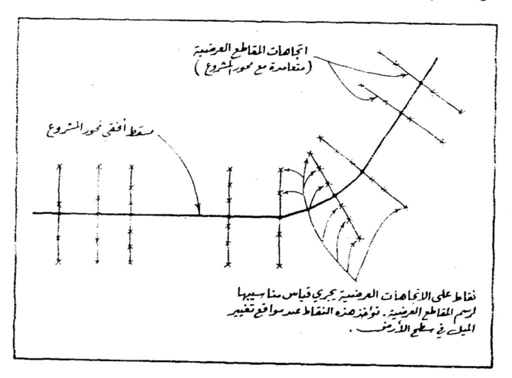
كثيراً ما يلزم معرفة تضاريس سطح الأرض ليس فقط عند نقاط محددة من محور المشروع ولكن عند نقاط على يمين ويسار هذا المحور أيضاً . من أجل هذا ، يجري قياس مناسيب نقاط مختارة على اتجاهات متعامدة مع محور المشروع ، شكل (8-5) . يطلق على هذه الاتجاهات العرضانية كما يطلق على المقاطع المأخوذة وفقها بالمقاطع العرضية . تتباعد المقاطع العرضية عن بعضها بحسب طبيعة الأرض ودرجة الدقة المطلوبة إلا أنها تتراوح في الغالب بين 10-50m أما مسافة امتداد المقطع العرضي على يمين ويسار محور المشروع فتتبع أيضاً طبيعة الأرض ونوع المشروع وغايته . تحدد اتجاهات المقاطع العرضية بالعين المجردة والتقدير الشخصي أو باستخدام الموشور المرئي (البرزما) وأدوات أخرى بسيطة متنوعة وخاصة إذا كانت أطوال هذه المقاطع

محدودة (بضعة عشرات من الأمتار) ، ولكن في حالات المقاطع العرضية الطويلة وحالات المشاريع الدقيقة (كالجسور والأنفاق على سبيل المثال) فيستعان بأجهزة وأدوات دقيقة كالثيودوليت وغيره . لرصد النقاط وإجراء عملية قياس المناسيب يمكن تثبيت جهاز التسوية في نفس المواقع التي جرى اختيارها لرصد نقاط المحور الطولي .

على كل حال ، يجب أن تكون محطات الرصد في مواقع ثابتة ومشرفة بحيث يمكن رصد أكبر عدد ممكن من النقاط وضمن أطوال خطوط النظر المسموح بها.

8-3-2- خطوات عمل المقاطع العرضية لمشروع طريق معين :

لإجراء عملية القياس باستخدام جهاز التسوية (Level) يمكن اتباع الخطوات التالية ؛[م51] :



شكل -8-5- مسقط أفقي يبين محور مشروع واتجاهات المقاطع العرضية المتعامدة عليه .

1- تحدد اتجاهات المقاطع العرضية عند النقاط المختارة أصلاً لتمثيل المقطع الطولي (نقاط التغير في ميل سطح الأرض على طول محور المشروع). الاتجاهات العرضية هذه تتعامد مع محور المشروع .

2- توضع إشارات أو علامات (دهان معين) على نقاط مختارة من الاتجاه العرضي المحدد وذلك على يمين ويسار محور المشروع وبتباعدات تتراوح بين 2-10m حسب طبيعة الأرض ودرجة الدقة المطلوبة . تختار هذه النقاط عادة عند كل تغير ملموس في ميل سطح الأرض .

3- يثبت جهاز التسوية في موقع مشرف ومناسب ويهيأ لعملية الرصد .

4- توضع المسطرة فوق نقطة قريبة ومعلومة الارتفاع (B.M.) كأن تكون نقطة تحول مناسبة أو علامة منسوب دائمة أو مؤقتة جرى استخدامها في عمل المقطع الطولي سابقاً ، ثم تؤخذ القراءة عليها وتسجل في عمود القراءات الخلفية في دفتر التسوية الخاص .

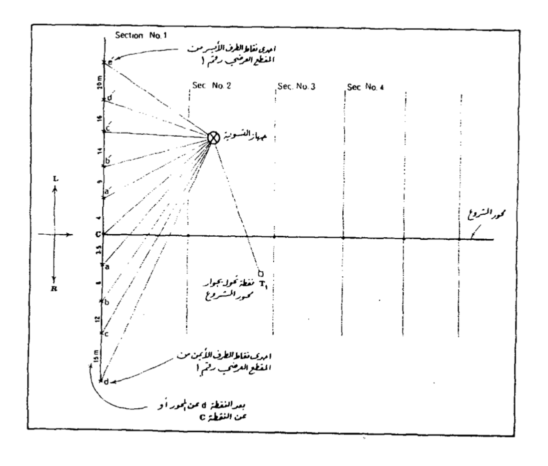
5- تنقل المسطرة إلى النقاط المختلفة على يمين ويسار المقطع العرضي الأول وتؤخذ القراءات عليها وتسجل في الأعمدة المخصصة لها . كذلك تنقل المسطرة إلى نقاط أخرى من مقطع عرضي جديد إذا كانت طبوغرافية الأرض تسمح بذلك (أي يمكن رصد المسطرة من نفس موقع الجهاز الحالي) وكانت خطوط النظر بأطوال معقولة لا تتجاوز المئة متر .

6- إذا تعذر رصد المسطرة من الموقع الحالي للجهاز أو إذا أصبحت خطوط النظر طويلة ، تنقل عندها المسطرة إلى نقطة تحول مناسبة وتؤخذ عليها قراءة أمامية ثم ينقل الجهاز إلى موقع جديد بينما تبقى المسطرة ثابتة على نقطة التحول .

7- بعد ضبط جهاز التسوية في الموقع الجديد المناسب ، ترصد المسطرة المثبتة فوق نقطة التحول وتؤخذ عليها قراءة خلفية .

8- تنقل المسطرة إلى نقاط جديدة على نفس المقطع العرضي الحالي أو على مقطع عرضي جديد ونتابع العمل بنفس الأسلوب .

شكل (6-8) يبين أحد النماذج التي يمكـن اسـتخدامها لإجـراء قياسـات المناسيب لنقاط المقاطع العرضية المختلفة . جدول رقم (2-8) ، يبيـن نموذجـاً لترتيب القراءات وبيان المسافات وحساب المناسيب لنقـاط المقـاطع العرضيـة المختلفة ، جدول (3-8) ، يبين نموذجاً آخر لترتيب القراءات وبيـان المسـافات وحساب المناسيب في أعمال المقاطع العرضية .



شكل -6-8- مسقط أفقي يبين طريقة إجراء قياسات المناسيب على أحد المقاطع العرضية .

ملحوظات :

* يمكن التدقيق على أعمال المقاطع العرضية بالاستعانة بالمناسيب المقيسة لنقاط المقطع الطولي وبنقاط التحول المستخدمة سابقاً أو بعلامات مناسيب قد تكون متوفرة بجوار محور المشروع .

Cross – Section No.	Point No.	Distance (m)	B. S. (m)	I. S. (m)	F. S. (m)	H. I. (m)	R. L. (m)	Remarks
1 R Chainage 00.00 m								1R تعني نقاط الجزء الأيمن من المقطع العرضي رقم -1-.
	C	0.00	3.420			103.121	99.701	نقطة على محور المشروع معلومة المنسوب
	a	3.50		3.11			100.011	
	b	8.00		1.95			101.171	
	c	12.00		2.42			100.701	
	d	15.00		1.70			101.421	
1 L Chainage 00.00 m								1L تعني نقاط الجزء الأيسر من المقطع العرضي رقم -1-.
	a´	4.00		2.23			100.891	
	b´	9.00		3.11			100.011	
	c´	14.00		3.50			99.821	
	d´	16.00		2.90			100.221	
	e´	20.00		2.73			100.391	
	T_1	—			2.713		100.408	نقطة تحول بجوار محور الطريق

دول رقم -2-8- نموذج لترتيب القراءات وبيان المسافات وحساب المناسيب لنقاط مقطع عرضي .

Station or Chainage	B.S. (m)	H.I. (m)	F.S. (m)	R.L. (m)		Route 24 Cross – Section Note Oct. 8, 1983				
						Left		℄	Right	
B. M. 1	1.845	714.271		712.426	بعد النقطة من محور المشروع	10m	3.5m		3.5m	10m
T. P.	2.196	715.519	0.948	713.323						
300					القراءة على المسطرة	1.38 / 714.14	1.50 / 714.02	1.74 / 713.78	1.86 / 713.66	2.04 / 713.48
315					المنسوب	1.95 / 713.57	2.13 / 713.39	2.16 / 713.359	2.28 / 713.24	2.46 / 713.06
335						1.20 / 714.32	1.26 / 714.26	1.35 / 714.17	1.44 / 714.08	1.62 / 713.90
360						0.84 / 714.68	0.90 / 714.62	0.93 / 714.59	1.08 / 714.44	1.20 / 714.32
T. P.			1.230	714.289						

H.I. – Staff Reading = 715.519 – 0.84 = 714.679 ≃ 714.68

جدول رقم -3-8- نموذج آخر لترتيب القراءات وبيان المسافات وحساب المناسيب في أعمال المقاطع العرضية .

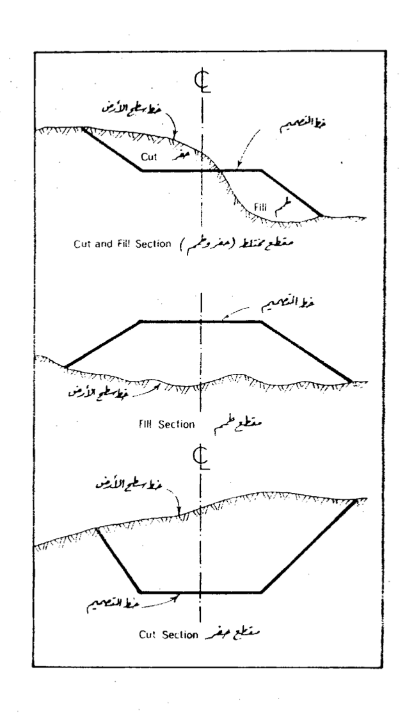
* يجب تسجيل بعد كل نقطة من المقطع العرضي عن محور المشروع وبيـــان موقعها إن كانت على يمين أو يسار هذا المحور . كذلك يجـــب تســـجيل رقـــم

المقطع العرضي ذي العلاقة (أي بيـــان تدريجـــه أو محطتـــه Station or
. Chainage)

* ليس من الضروري أن تؤخذ المقاطع العرضية عند النقـــاط الخاصـــة بعمـــل المقطع الطولي لمحور المشروع ولكن في جميع الأحوال تؤخذ هذه المقاطع عند نقاط تغير الميل بشكل محسوس في سطح الأرض وعلى طول محور المشروع.
* ليس من الضروري أن يمتد المقطع العرضي على يمين محور المشروع بنفـس المسافة التي يمتدها على الطرف الأيسر فكثيراً ما يكون للعـــامل الطبوغرافـــي الدور الأساسي في ذلك .
* يمكن أخذ مقاطع عرضية غير متعامدة مع محور الطريق بل تشكل زاوية مـــا وهذا ما يحدث عند وجود وديان أو حروف (خطوط التقاء السطوح أو الســفوح المتجاورة) تقطع محور المشروع في زوايا غير قائمة . هنا لا بـــد أن تكـــون اتجاهات المقاطع العرضية وفق اتجاهات محـــاور هـــذه الوديـــان والتفـــاصيل وتنطبق عليها . يجب بيان مواقع واتجاهات هذه التفاصيل الهامـــة (القاطعـــة لمحور المشروع) على المسقط الأفقي للمقطع الطولي بدقة ووضوح .
* في حالة الأراضي شديدة الانحدار وحيث يتوجب نقل جهاز التسوية بصـــــورة متكررة بسبب عائق الرؤية ، فإنه ينصح باستخدام جهاز ثيودوليـــت وشـــريط ومسطرة مدرجة بدلاً من جهاز التسوية (Level) . إن طريقة اســتخدام هـــذه الأدوات (الثيودوليت والشريط والمسطرة) في قياس مناســيب نقـــاط المقـــاطع العرضية الواقعة في الأراضي المنتظمة والشديدة الانحـــدار ، ســـهلة وتـــترك للطالب كتمرين .
* **يمكن وفي حالات كثيرة استخدام الصور الجوية في اشـــتقاق مناســيب نقـــاط المقاطع العرضية المختلفة . إن هذا الأمر يعتمد على درجة الدقـــة المطلوبـــة وعلى مقياس الصور المستخدمة بالإضافة إلى الأجهزة المستخدمة في عمليـــة تجسيم الصور وطرق التعديل والحساب .**
* **يمكن أن تتم أعمال المقاطع العرضية والطولية في آن واحد أو على انفـــراد ويترك للفريق العامل في الميدان في ضوء المعطيات والتسهيلات المتوفرة .**

* في أثناء عملية القياس باستخدام جهاز التسوية يفضل أن يمسك حامل المسطرة (Staffman) طرف الشريط عند التدريج صفر وفي الوقت نفسه يثبت المسطرة عند نقاط تغير الميل في سطح الأرض باتجاه المقطع العرضي المعتبر بينما يقوم مساعده بتوجيه وشد الشريط وقراءة تدريج الشريط عند التقائه بمحور المشروع ثم إعطاء المسافة المقيسة (بعد نقطة المقطع العرضي المعتبرة عن محور المشروع والمساوية لتدريج الشريط عند التقائه بمحور الطريق أو المشروع) إلى مسجل القياسات .
* ليس من الضروري قياس مناسيب جميع نقاط المقطع العرضي الواحد من محطة واحدة للجهاز إذ ربما لا تسمح طبوغرافية المنطقة بذلك . في هذه الحالة يمكن رصد أكبر عدد ممكن من النقاط وإن وقعت على مقاطع عرضية متعددة شريطة عدم الوقوع في أخطاء عند تسجيل مواقع هذه النقاط والقراءات الصحيحة المقابلة لها . عملياً أؤكد أن في هذا الأمر بعض الإرباك والتشويش .
* بمعرفة مناسيب أو تعرجات سطح الأرض في اتجاهات المقاطع العرضية وبمعرفة المناسيب المصممة اللازم تحقيقها في أثناء تنفيذ المشروع يمكن حساب المساحة بين خط التصميم وخط سطح الأرض ، شكل (5-7) . بعد حساب مساحة كل مقطع عرضي يمكن بسهولة حساب حجم الحفر أو الردم بين كل اتجاهين عرضيين متتاليين وبالتالي حساب كميات الحفر والردم اللازمة لكامل المشروع . لاحظ أن خط التصميم يمكن أن يقطع خط سطح الأرض الطبيعي فيتكون لدينا في نفس المقطع العرضي جزء في الحفر وآخر في الردم ويطلق عليه في هذه الحالة " مقطع مختلط "

(Cut and Fill Section or Sidehill Section) . كذلك يمكن أن يمر خط التصميم فوق خط سطح الأرض فيصبح المقطع العرضي بكامله في منطقة ردم ويطلق عليه " مقطع ردم أو طمم " (Fill Section) أو أن يمر خط التصميم أسفل خط سطح الأرض فيكون المقطع العرضي في منطقة حفر ويطلق عليه مقطع حفر (Cut Section) .



شكل -8-7- مقاطع عرضية متنوعة لطريق

8-3-3- رسم المقطع العرضي (Cross – Sectional Plotting)

لرسم المقطع العرضي ، يمكن اتباع نفس أسلوب رسم المقاطع الطولية مع ملاحظة أن يكون مقياس المسافات الأفقية مطابقاً لمقياس المسافات الرأسية (الارتفاعات) . أن السبب في تجانس المقياس هو عدم وجود فرق كبير بين المسافات الأفقية وفروق الارتفاعات بين مختلف نقاط المقطع العرضي الواحد . يتراوح عادة المقياس الأفقي والرأسي هنا بين $\frac{1}{200} - \frac{1}{50}$ والشائع هو $\frac{1}{100}$

شكل (8-8)•أخيراً يجب ملاحظة أنه ليس من الضروري أن يكون منسوب الخط المرجعي عند رسم مقطع عرضي معين مطابقاً لمنسوب الخط المرجعي عند رسم مقطع عرضي آخر ذلك لأن فروق الارتفاعات تختلف من مقطع لآخر وبالتالي فإن اختيار المنسوب المرجعي يتم بناء على درجة الوضوح المطلوبة وعلى حجم الورقة أو بالأحرى العامل الاقتصادي .

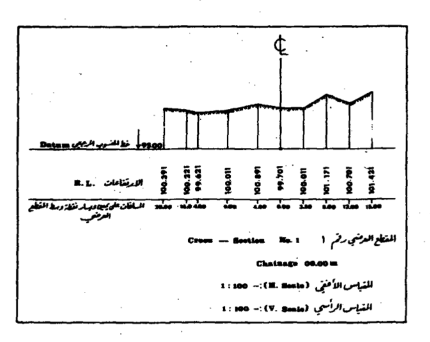
8-3-4- فوائد عمل المقاطع العرضية :

من الفؤاد الرئيسة لأعمال المقاطع العرضية ما يلي :

أ- تساعد في اختيار أنسب المناسيب لأغراض التصميم والتنفيذ على يمين ويسار محور المشروع المقترح .

ب- يستعان بها لحساب كميات الحفر والطمم اللازمة لتنفيذ المشروع .

ج- تساعد في اشتقاق معلومات إضافية وأساسية تتعلق بالميول والمناسيب والمواقع لنقاط خاصة بالمشروع قيد الدراسة .



شكل -8-8- رسم المقطع العرضي

مســـائل

8 - 1 لماذا نحتاج إلى القيام بأعمال التسوية للمقاطع الطوليـــة والعرضيـــة في مشـــاريع الطرق؟ أذكر أهم الفوائد .

8 - 2 اعمل مخطط نهجي (Flow Chart) يبين الخطوات الضرورية لعمل للمقاطع الطولية لمحور طريق معين .

8 - 3 هل يلزم توفر نقاط مناسيب مرجعية (Bench Marks) بجوار وبمحـــاذاة محـــور الطريق ؟ ولماذا ؟

8 - 4 ما الذي يتوجب أن يظهره المقطع الطولي لمحور طريق معين عند رسمه ؟

8 - 5 اعمل مخطط نهجي يبين الخطوات الضرورية لعمل للمقاطع العرضية لمحور طريـــق معين.

8 - 6 ما أهمية عمل نموذج لتدوين القراءات وبيان للمسافات وحســـاب المناســيب في أعمال المقاطع الطولية والعرضية ؟

8 - 7 أعط فكرة حول المقاييس المستخدمة في أعمال رسم المقاطع الطولية والعرضيـــة موضحاً سبب التفاوت بينها .

8 - 8 ارسم المقطع الطولي من المعلومات المبينة في الجدول التالي وبين عليه الأرض الطبيعية وخط المشروع ومناطق الحفر والردم (القطع والطمم) علماً بـــأن منسوب بداية خط المشروع هو نفس منسوب بداية خط الأرض الطبيعية وأن ميل خط المشروع 1.5% (للأسفل) ومقيـــاس الرســـم للمســـافات يســـاوي 1:1000 وللمناسب 1:100

Station	Distance (m)	Reduced Level (m)
A	00.00	16.2
B	30.00	17.1
C	60.00	17.8
D	90.00	13.3
E	120.00	12.0

- 9 -

– الفصل التاسع –

حساب مساحات المقاطع العرضية والطولية

AREA OF VARIOUS CROSS-SECTIONS

9- حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة
(Area of Various Cross-Sections)

9-1- مقدمة (Introduction)

يلزم في كثير من المشاريع الهندسية ، كمشاريع الطرق والسكك الحديدية وأقنية الري والسدود . . . الخ حساب كميات الأعمال الترابية من حفر وردم. من أجل ذلك يجري عادة قياس مناسيب نقاط مختلفة مأخوذة على خطوط متعامدة مع إتجاه محور المشروع المقترح. يطلق على هذه الخطوط بالمقاطع العرضية (Cross-Sections) . في مشروع طريق ما، على سبيل المثال ، يعرف المقطع العرضي بذلك الجزء المحصور بين سطح الطريق المخصص لسير السيارات (Road Base) وخطي الميلين الجانبيين (Side Slopes) وخط سطح الأرض الطبيعية (Natural Terrain) . تحسب مساحات المقاطع العرضية بمعلومية المناسيب وعناصر التصميم المختلفة . بمعرفة مساحات المقاطع العرضية والتباعدات بينها يمكن حساب كميات الحفر أو الردم بين كل مقطعين متتاليين وبالتالي حساب جميع الأعمال الترابية اللازمة لكامل المشروع . يمكن حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة وفق طرق رئيسية ثلاث ، الطريقة الحسابية أو التحليلية والطريقة التخطيطية والطريقة الميكانيكية.

9-2- الطريقة الحسابية أو التحليلية في حساب مساحات المقاطع العرضية

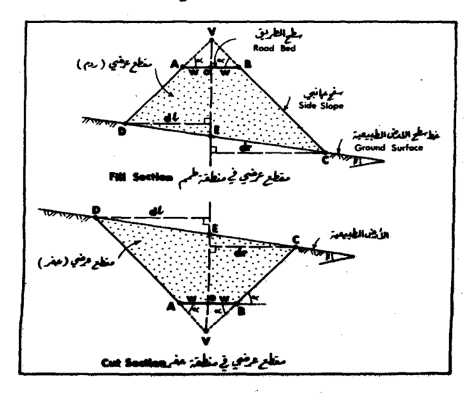
(Computation of Cross-Section Area by Analytic Method)

مع شيوع الحاسبات الإلكترونية ، أصبح بالإمكان حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة تحليلياً وبسرعة فائقة ودقة عالية . نعرض فيما يلي نماذج من المقاطع العرضية وطرق الحساب الملائمة لها، [م46] [م47] [م48] [م49] [م55] .

أ . الحالة التي يكون فيها ميل الأرض الطبيعية منتظماً

بإفتراض أن عرض سطح الطريق المصمم 2w وميل جوانب الطريق i وإرتفاع الردم أو الحفر عند نقطة وسط الطريق v ، شكل (9-1) ، فإن مساحة المقطع العرضي ABCD (الجزء المنقط) تساوي المثلث الكبير VCD مطروحاً منها مساحة المثلث الصغير VAB ، أي :

$$Area = (v + w.i) \left(\frac{d_l + d_r}{2} \right) - w^2 . i \qquad .... \qquad (1-9)$$



شكل 9 -1- سطح الأرض الطبيعية منتظم الميل

أو :

$$Area = (v + w. \tan \alpha) (\frac{d_l + d_r}{2}) - w^2 . \tan\alpha \quad .... \quad (2\text{-}9)$$

حيث :

α = زاوية ميل جوانب الطريق

$i = \tan \alpha$

d_r = VCE إرتفاع المثلث

d_l = VDE إرتفاع المثلث

w = OA = OB = نصف عرض الطريق

v = OE = إرتفاع الحفر أو الردم عند نقطة وسط الطريق

ملحوظـــــات :

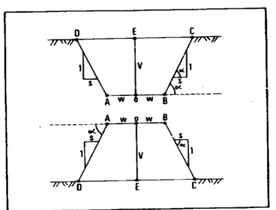
1- يمكن حساب إرتفاعي المثلثين d_r و d_l بدلالـة إرتفـاع الحفر أو الـردم (v) ونصـف عرض الطريق (w) وميل الأرض الطبيعية ($t = \tan \beta$) وميل جوانـب الطريـق $i = \tan \alpha$

2- إذا كانت الأرض الطبيعية ذات ميول مختلفة $t_1 , t_2 , t_3 ... etc$ فيمكـن عندهـا أخـذ موازيات لخط سطح الطريق (AB) عند النقـاط التـي يتغير فيهـا ميـل الأرض الطبيعيـة فينقسم بذلك سطح المقطع العرضي إلى مثلثات وأشباه منحرفة تحسـب مسـاحاتها بـالطرق البسيطة آنفة الذكر وتجمع لبعضها للحصول على المساحة الكلية للمقطع العرضي.

3- يمكن أن يأخذ المقطع العرضي شكلا مماثلا للشكل رقم (9-2) ، كمـا يحـدث عـادة فـي الأرض السهلية (Flat Terrain)، عندها تعطى المساحة بالعلاقة :

$$Area = v (2w + s.v) \quad .... \quad (3\text{-}9)$$

4- يمكن أيضاً حساب المساحة بطريقة الأحداثيات التي سنشرحها بالتفصيل فيما بعد.



شكل -9-2- شكل المقطع العرضي في الأراضي السهلية
(LEVEL SECTION)

ب .الحالة التي يكون فيها ميل الأرض الطبيعية غير منتظم وفق أحد الأشكال التالية :

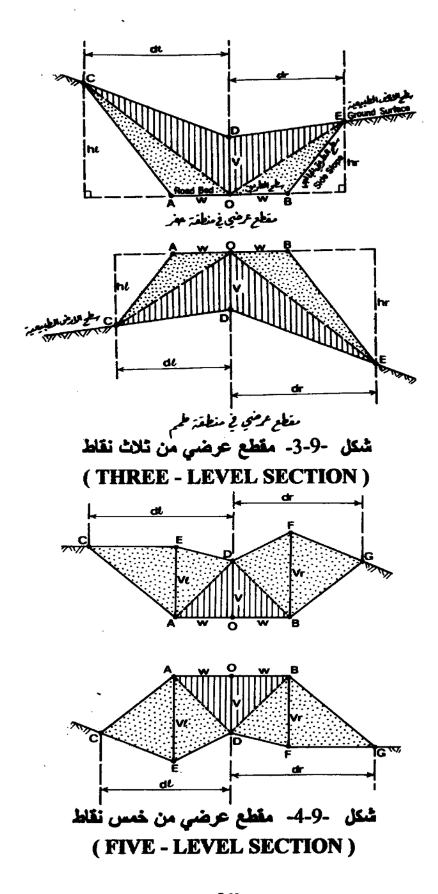
1 . كما في الحالة المبينة في الشكل (9-3) ، تحسب مساحة المقطع العرضي على النحو التالي :

$$Area = \frac{w}{2}(h_l + h_r) + \frac{v}{2}(d_l + d_r) \quad \ldots\ldots (4\text{-}9)$$

حيث ترمز v (وتساوي OD) إلى إرتفاع الحفر أو الطمم عند نقطة وسط الطريق.

2- كما في الحالة المبينة في الشكل (9-4) ، تحسب مساحة المقطع العرضي على الشكل التالي :

$$Area = \frac{2w.v + v_l.d_l + v_r.d_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5\text{-}9)$$



شكل -9-3- مقطع عرضي من ثلاث نقاط

(THREE - LEVEL SECTION)

شكل -9-4- مقطع عرضي من خمس نقاط

(FIVE - LEVEL SECTION)

ملحوظــــــات :

1- في المعادلتين (9- 4) و (9-5) ، w ترمز إلى نصف عرض الطريق، v ترمز إلى عمق الحفر أو الردم عند نقطة منتصف الطريق، vl عمق الحفر أو الردم عند الطرف الأيسر لسطح الطريق، vr عمق الحفر أو الردم عند الطرف الأيمن لسطح الطريق.

2- يمكن أيضاً حساب المساحة للأشكال الواردة في البندين أ ، ب أعلاه بطريقة الأحداثيات أو بالطرق التخطيطية أو بالطرق الميكانيكية التي سنشرحها جميعاً بالتفصيل في الفقرات التالية.

مثال رقم -9-1-

مقطع عرضي يقع في منطقة سهلية تماماً (Flat Terrain)، إرتفاع الردم عند نقطة وسط الطريق يساوي : $v = 3.15m$ وعرض الطريق $2w = 10m$ وميل كل من الجانبين $\tan \alpha = \frac{1}{2}$، المطلوب إيجاد مساحة هذا المقطع.

الحــــل :

لدينا :

$$\tan \alpha = \frac{1}{S} = \frac{1}{2}$$

إذن :

$$S = 2$$

وكذلك لدينا :

$$w = \frac{10}{2} = 5m \quad , \quad v = 3.15m$$

فبتطبيق المعادلة (9-3)، يصبح لدينا :

$$Area = v(2w + sv) = 3.15(10 + 2 \times 3.15) = 51.35\ m^2$$

مثال رقم -9- 2-

إحسب مساحة المقطع العرضي المعطى بالمعلومات التالية :

	Left	Center	Right
عمق الحفر C أو الردم F بالمتر	C 3.22	C 2.12	C 2.92
المسافة عن وسط الطريق ناحية اليمين أو اليسار بالمتر	13.0	0.0	12.5

علماً بأن عرض الطريق 10m..

الحــــــل :

لدينا :

$$w = \frac{10}{2} = 5m \quad , \quad h_l = 3.22m \ , \ h_r = 2.92m$$

$$v = 2.12m \quad , \quad d_l = 13m \ , \ d_r = 12.5m$$

وعليه فبتطبيق المعادلة (9- 4) يصبح لدينا :

$$Area = \frac{w}{2}(h_l + h_r) + \frac{v}{2}(d_l + d_r)$$

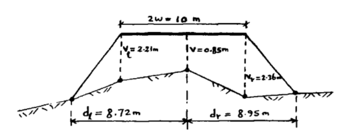
$$Area = \frac{5}{2}(3.22 + 2.92) + \frac{2.12}{2}(13 + 12.5)$$

$$Area = 42.38m^2$$

مثال رقم -3-9-

إحسب مساحة المقطع العرضي المعطى بالمعلومات التالية علماً بأن عرض الطريق يساوي 10m.

العمق اللازم من الحفر C أو الردم F بالمتر		F2.21	F0.85	F2.36	
المسافة بدءا من وسط الطريق ناحية اليمين أو اليسار بالمتر	8.72	5.0	0.0	5.0	8.95



الحــــل :

لدينا نصف عرض الطريق w يساوي 5m، عمق الردم v عند نقطة منتصف الطريق يساوي 0.85m، عمق الردم عند الطرف الأيسر لسطح الطريق vl يساوي 2.21m، عمق الردم عند الطرف الأيمن لسطح الطريق vr يساوي 2.36m، أما dl فتساوي 8.72 و dr تساوي 8.95m فبتطبيق المعادلة رقم (9-5-) ينتج لدينا :

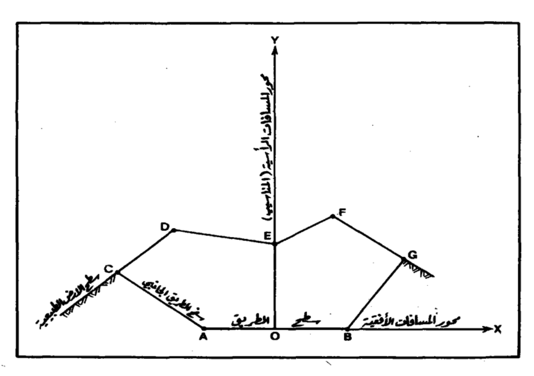
$$Area = \frac{2w.v + vl.dl + vr.dr}{2}$$

$$Area = \frac{10 \times 0.85 + 2.21 \times 8.72 + 2.36 \times 8.95}{2}$$

$$Area = 24.45m^2$$

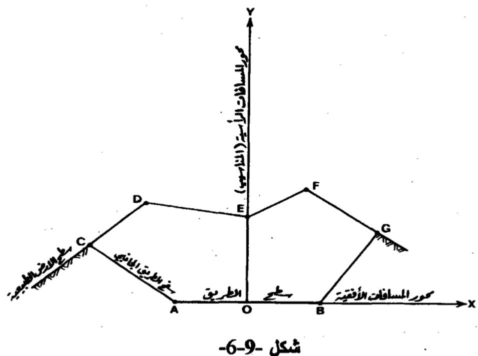
9 - 3 - طريقة الإحداثيات في حساب مساحات المقاطع العرضية [م14] [م19] [م21] [م22]
(Computation of Cross-Section Area by the Coordinate Method) [م23] [م55]

من الشائع أيضاً تطبيق طريقة الأحداثيات في حساب مساحات المقاطع العرضية وذلك بإعتبارها مضلعات مغلقة (Closed Polygon Traverses). على سبيل المثال، لحساب المقطع العرضي المبين في الشكل (9 -5)، نختار نظام أحداثيات y و x مركزه النقطة O (ولتكن نقطة منتصف عرض الطريق المقترح AB في الشكل المذكور أعلاه) فيه محور x يمثل المسافات الأفقية ومحور x يمثل المناسيب (أي أعماق الحفر والردم). نأخذ من دفتر الحقل المسافات الأفقية والمناسيب المتعلقة بالنقاط G و F و E و D و C وبمعرفة عرض الطريق (AB) ومنسوب الطريق الخاص بهذا المقطع يمكن تعيين أحداثيات جميع نقاط زوايا المقطع العرضي G و F و E و D و C و B و A .



شكل -9-5- حساب مساحة المقطع العرضي بطريقة الأحداثيات

في أحيان كثيرة تكون قيم أعماق الحفر أو الردم لمختلف نقاط المقطع العرضي مدونة في دفتر الحقل مما يسهل تعيين الأحداثيات، فمثلاً في حالة الشكل (9-6) ، تكـون المعلومـات الحقليـة الخاصة به على الشكل التالي :



شكل -9-6-

المحطة أو التدريج Station or Chainage m	منسوب التصميم لسطح الطريق Grade Elev. m	منسوب سطح الأرض الطبيعية Ground Elev. m	نقاط المقطع العرضي رقم . . . Cross - Section No.				
			Left m		Center	Right m	
120.00	657.40	663.72	C2.63 / 09.86	C5.34 / 07.84	C6.32 / 00.00	C 4.25 / 05.50	C 4.82 / 10.12

حيث يمثل البسط (Numerator) في كل كسر الأحداثي الصـادي أو عمق الحفر أو الردم (عادة نميز بينهما بكتابة الحرف C أو + للدلالة على الحفر وبكتابـة الحـرف F أو − للدلالة على الردم) وأما المقام (Denominator) فيمثل الأحداثي السيني أو بعد النقطة على يسار

أو يمين محور الصادات المار بنطقة 0 (نقطة منتصف عرض الطريق AB . إن معلومات الحقل أعلاه تمثل النقاط G و F و E و D و C وبالتحديد ، النقطة E يمثلها الكسر $\frac{C\ 6.32}{00.00}$ (لاحظ أن الأحداثي السيني لها يساوي صفراً) ، النقطة D يمثلها الكسر $\frac{C\ 5.34}{7.84}$ ، النقطة C يمثلها الكسر $\frac{C\ 2.63}{9.86}$ ، النقطة F يمثلها الكسر $\frac{C\ 4.25}{5.50}$ ، النقطة G يمثلها الكسر $\frac{C\ 4.82}{10.12}$.

أما النقطتان B وA فتستنتج إستنتاجاً بمعرفة عرض الطريق، فإن كان هذا العرض مثلاً 10m فإن الكسر الذي يمثل النقطة A هو $\frac{C\ 0.00}{5.00}$ والكسر الذي يمثل النقطة B هو $\frac{C\ 0.00}{5.00}$ ذلك لأن الاحداثي الصادي لكل من B و A يساوي صفراً وأما الاحداثي السيني فهو مساوٍ عددياً لنصف عرض الطريق. بهذا يمكن الآن ترتيب المعلومات الخاصة بجميع زوايا المقطع العرضي المبين في الشكل (9-43)، على النحو التالي :

A	C	D	E	F	G	B
$\frac{C00.00}{05.00}$	$\frac{C2.63}{09.86}$	$\frac{C5.34}{07.84}$	$\frac{C6.32}{00.00}$	$\frac{C4.25}{05.50}$	$\frac{C4.82}{10.12}$	$\frac{C00.00}{05.00}$

كما ذكرنا، أن البسط في كل كسر يمثل الأحداثي الصادي والمقام يمثل الأحداثي السيني وعليه دعنا نرتب هذه المعلومات مرة أخرى على شكل أحداثيات y و x مع إعادة كتابة أحداثيات النقطة A في النهاية لإكمال المضلع ومع ملاحظة أن الأحداثي السيني يكون موجباً لكل نقطة واقعة على يمين محور الصادات وسالباً لكل نقطة واقعة على يسار محور الصادات، أي :

Point No.	A	C	D	E	F	G	B	A
y	0.00	2.63	5.34	6.32	4.25	4.82	0.00	0.00
x	-5.00	-9.86	-7.84	0.00	5.50	10.12	5.00	-5.00

الآن نضرب كل قيمتين واقعتين على طرفي كل خط قطري متصل ونجمعها لبعض وليكن مجموع هذه المضاريب مساوياً $\sum 1$ ، أي :

$$\sum_1 = (0.00 \times (-9.86)) + (2.63 \times (-7.84)) + (5.34 \times 0.00) + (6.32 \times 5.50) + (4.25 \times 10.12) + (4.82 \times 5.00) + (0.00 \times (-5.00)) = 81.25 m^2$$

كذلك نضرب كل قيمتين واقعتين على طرفي كل خط قطري متقطع ونجمعها لبعض وليكن مجموع هذه المضاريب مساويا $\sum 2$ ، أي :

$$\sum_2 = (2.63 \times (-5.0)) + (5.34 \times (-9.86)) + (6.32 \times (-7.84)) + (4.25 \times 0.00) + (4.82 \times 5.50) + (0.00 \times 10.12) + (0.00 \times 5.00) = -88.84 m^2$$

وعليه تكون مساحة المقطع العرضي بكامله مساوية :

$$Area = \frac{|\sum_1 - \sum_1|}{2} = \frac{|81.25 - (-88.84)|}{2}$$

$$Area = 85.05 m^2$$

ملحوظـــــات :

1- إذا كان المقطع مختلطاً (حفر وردم Sidehill Section) فيجب حساب مساحة كل من الحفر والردم على إنفراد، ذلك لأنهما (أي الحفر والردم) يدخلان في جداول الكميات كبندين منفصلين.

2- يجب عند تعيين المسافات الأفقية أو الاحداثيات السينية لزوايا المقطع العرضي، أخذ الإشارة الجبرية بعين الإعتبار.

3- تؤخذ مناسيب النقاط الخاصة بكل مقطع عرضي، وبالتالي أعماق الحفر والردم، إما مباشرة من دفتر الحقل وإما أن تستنتج حسابياً (مثلاً بالتوسط **Interpolation**) من المخططات والخرائط الطبوغرافية المناسبة. في كلا الحالتين، يلزم معرفة منسوب التصميم (المنسوب المراد الوصول إليه) لنقطة وسط الطريق عند كل مقطع عرضي، كذلك يلزم معرفة عرض الطريق وميل جوانب الطريق عند كل مقطع.

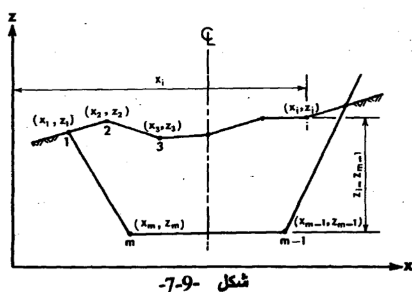
4- ليس من الضروري أن تكون نقطة منتصف عرض الطريق مركزاً للأحداثيات بل يمكن أيضاً أن تكون محاور الأحداثيات كما في الشكل (7-9) ، كذلك يمكن تسمية محور الصادات (المناسيب) بمحور z بدلا من محور y وهو الانسب لأنه من الشائع أن ترمز z إلى الإرتفاع او البعد الرأسي. في مثل هذه الحالة يجري ترتيب الأحداثيات وفق أحد النماذج الأربعة التالية :

$$\frac{x_1}{z_1} \;\; \frac{x_2}{z_2} \;\; \frac{x_3}{z_3} \;\; \frac{x_4}{z_4} \;\; \cdots \;\; \frac{x_i}{z_i} \;\; \cdots \;\; \frac{x_{m-1}}{z_{m-1}} \;\; \frac{x_m}{z_m} \;\; \frac{x_1}{z_1} \qquad (1)$$

$$\frac{z_1}{x_1} \;\; \frac{z_2}{x_2} \;\; \frac{z_3}{x_3} \;\; \frac{z_4}{x_4} \;\; \cdots \;\; \frac{z_i}{x_i} \;\; \cdots \;\; \frac{z_{m-1}}{x_{m-1}} \;\; \frac{z_m}{x_m} \;\; \frac{z_1}{x_1} \qquad (2)$$

$$\frac{x_1}{z_1} \;\; \frac{x_m}{z_m} \;\; \frac{x_{m-1}}{z_{m-1}} \;\; \cdots \;\; \frac{x_i}{z_i} \;\; \cdots \;\; \frac{x_4}{z_4} \;\; \frac{x_3}{z_3} \;\; \frac{x_2}{z_2} \;\; \frac{x_1}{z_1} \qquad (3)$$

$$\frac{z_1}{x_1} \;\; \frac{z_m}{x_m} \;\; \frac{z_{m-1}}{x_{m-1}} \;\; \cdots \;\; \frac{z_i}{x_i} \;\; \cdots \;\; \frac{z_4}{x_4} \;\; \frac{z_3}{x_3} \;\; \frac{z_2}{x_2} \;\; \frac{z_1}{x_1} \qquad (4)$$



شكل -7-9-

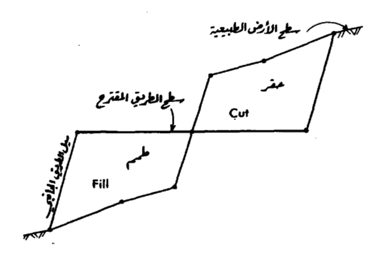
لاحظ أنه عند ترتيب الأحداثيات نبتدئ بأي ركن أو زاوية من زوايا المقطع العرضي (أو المضلع) ونسير بعدها إما وفق أو عكس إتجاه عقارب الساعة حتى نعود ثانية إلى نقطة البداية ونكتب أحداثياتها ثانية. بأخذ ترتيب الاحداثيات وفق النموذج الأول تكون مساحة المقطع العرضي الوارد في الشكل (9-7) كما يلي :

$$Area = \frac{1}{2}\left[(x1.z2 + x2.z3 + x3.z4 + \ldots + xm\text{-}1.zm + xmz1) - (x2.z1 + x3.z2 + x4.z3 + \ldots + xm.zm\text{-}1 + x1.zm) \right]$$

أو :

$$Area = \frac{1}{2}\left[z1(xm - x2) + z2(x1 - x3) + z3(x2 - x4) + \ldots + zm(xm\text{-}1 - x1)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6\text{-}9)$$

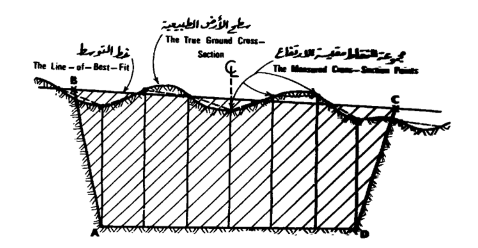
في حالة وجود مقطع مختلط (أي حفر وردم Sidehill Section) سيكون لدينا مضلعان مغلقان، شكل (9-8) ، نحسب مساحة كل منهما بإستخدام نفس المعادلة (9-6)، ونجمع المساحتين لينتج مساحة المقطع المختلط بكامله.



شكل -9 -8- مقطع مختلط (حفر وردم)

9 - 4 - طريقة المقطع المبسّط في حساب مساحات المقاطع العرضية [م55]
(Simplified Cross-Section Method)

في هذه الطريقة، يتم تشكيل مقطع عرضي مبسط بإستبدال خط واحد مستقيم بخط سطح الأرض الطبيعية الذي يصل بين مجموعة من النقاط المقيسة الإرتفاع (المنسوب)، شكل (9 -9).

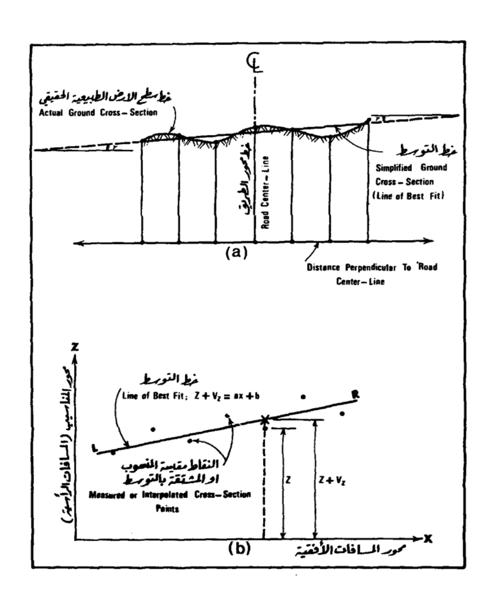


شكل -9-9- تحويل المقطع العرضي الحقيقي إلى آخر مبسط

يجري تحديد الخط المستقيم إستناداً إلى نظرية التربيعات الوسطى (**Theory of Least Squares**) بحث يتوسط بشكل جيد النقاط مقيسة الإرتفاع. نبين فيما يلي كيفية تعيين الخط المستقيم البديل لخط سطح الأرض الطبيعية وسنطلق على هذا الخط من هنا فصاعداً إسم " خط التوسط " " Line - of - Best - Fit " . لنفرض في الشكل (9-10-b)، أن الخط L R هو الخط المستقيم البديل لخط سطح الأرض الطبيعية المار من مجموعة النقاط مقيسة الإرتفاع. إن معادلة هذا الخط هي على الشكل : $Z = ax + b$ وعليه فبتعيين قيم المعاملين b و a يمكن حساب منسوب أو إرتفاع (z) أي نقطة على هذا الخط . لتعيين قيم المجاهيل b و a نكتب :

$$z + v_z = ax + b$$

$$v_z = (ax + b) - z \qquad \text{.........................} \qquad (7\text{-}9)$$



شكل -9-10- خط سطح الأرض الطبيعية (a) وخط التوسط (b)

فإذا كان لدينا عدد n من النقاط المحـددة للمقطـع العرضـي فسيكون هنـاك عدد n أيضـاً من الإرتفاعات المقيسة نكتبها على الشكل الماتريسي (Matrix Notation) التالي :

$$f = \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \\ . \\ . \\ . \\ zn \end{bmatrix}_{(n \times 1)} \qquad \text{.............................} \qquad (-8-9)$$

دعنا كذلك نكتب معاملات المجاهيل b و a على الشكل الماتريسي التالي :

$$A = \begin{bmatrix} x1 & 1 \\ x2 & 1 \\ x3 & 1 \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ xn & 1 \end{bmatrix}_{(n \times 2)} \qquad \text{...................................} \qquad (9-9)$$

والمجاهيل b و a على الشكل الماتريسي التالي :

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}_{(2 \times 1)} \qquad \text{.................................} \qquad (10-9)$$

وبالتالي فإن المعادلة (9 -7) يمكن صياغتها علـى الشـكل الماتريسـي التـالي : ولعـدد n مـن النقاط المقيسة الإرتفاع (يطلق عليها معدلات الرصد Observation Equations) :

$$\begin{bmatrix} Vz1 \\ Vz2 \\ Vz3 \\ . \\ . \\ . \\ . \\ Vzn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x1 & 1 \\ x2 & 1 \\ x3 & 1 \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ xn & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \\ . \\ . \\ . \\ . \\ z4 \end{bmatrix} \quad \dots (11\text{-}9)$$

$$(n \times 1) \qquad (n \times 2) \qquad (2 \times 1) \qquad (n \times 1)$$

أو :

$$V_z = A . X - f \quad \dots\dots\dots\dots \quad (12\text{-}9)$$

وعليه فإن المعادلات النظامية (Normal Equations) المقابلة لمعادلات الرصد (Observation Equations)، (9-52) و (9-53) هي :

$$(A^T . G^{-1} A) X = A^T . G^{-1} . f \quad \dots\dots\dots\dots \quad (13\text{-}9)$$

الآن بافتراض أن قياس إرتفاعات النقاط يجري بنفس الدرجة من الدقة وبدون إرتباط (Correlation) بين قياس وآخر، فإن الماتريس G يكون وحدياً (Unit Metrix) وبالتالي :

$$G^{-1} = (W^{-1})^{-1} = W = I$$

حيث تمثل W ماتريس الأوزان (Weight Matrix) الخاصة بالإرتفاعات المقيسة. ومن ثم فإن المعادلة (9-54) تصبح على الشكل :

$$A^T . A . X = A^T . f \quad \dots . \quad (14\text{-}9)$$

وحيث أن :

$$A^T A = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 & \dots & xn \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} x1 & 1 \\ x2 & 1 \\ x3 & 1 \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ xn & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} xi \\ \sum_{i=1}^{n} xi & n \end{bmatrix}$$

$$(2 \times n) \qquad (n \times 2) \qquad (2 \times 2) \quad .. \quad (15\text{-}9)$$

$$A^T f = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 & \dots & xn \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ zn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i z_i \\ \sum_{i=1}^{n} z_i \end{bmatrix}$$

$$(2 \times n) \qquad (n \times 1) \qquad (2 \times 1) \dots \quad (16\text{-}9)$$

وعليه فإن المعادلة (14-9) تصبح :

$$\underset{(2 \times 2)}{\underset{A^T A}{\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} x_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_i & n \end{bmatrix}}} \cdot \underset{(2 \times 1)}{\underset{X}{\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}}} = \underset{(2 \times 1)}{\underset{A^T f}{\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i z_i \\ \sum_{i=1}^{n} z_i \end{bmatrix}}} \dots \quad (17\text{-}9)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} x_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_i & n \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i z_i \\ \sum_{i=1}^{n} z_i \end{bmatrix}$$

(18-9)

وحيث أن :

$$\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} x_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_i & n \end{vmatrix}^{-1} = \begin{vmatrix} n & -\sum_{i=1}^{n} x_i \\ \sum_{i=1}^{n} x & \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \end{vmatrix} \div \left(n \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right)$$

$$\dots\dots\dots \quad (19\text{-}9)$$

إذن :

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \begin{bmatrix} n & -\sum_{i=1}^{n} x_i \\ -\sum_{i=1}^{n} x_i & \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} x_i z_i \\ \sum_{i=1}^{n} z_i \end{bmatrix}$$

$(2\times1) \qquad (2\times2) \qquad (2\times1)$

.... (20-9)

وأخيراً :

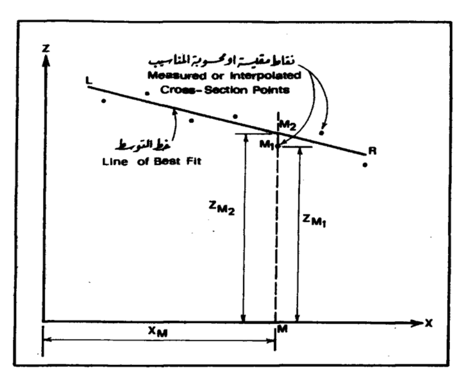
$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i z_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} z_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}$$

$$b = \frac{-\sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i z_i + \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sum_{i=1}^{n} z_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \quad \text{..........} \quad (21\text{-}9)$$

إن قيم المجاهيل a,b في المعادلة رقم (21-9) . تختلف من مقطع عرضي لآخر لإختلاف المناسيب (Elevations) الخاصة بكل مقطع عرضي.

تبعاً لهذا ، فإنه إذا إفترضنا أن Z_{M1} تمثل المنسوب المقيس لنقطة ما M من مقطع عرضي معين، شكل (11-9) ، فإنه سيجري إستبدال المنسوب Z_{M2} بالمنسوب Z_{M1}. إن المنسوب Z_{M2} يقابل الموقع الجديد للنقطة M على خط التوسط L R . يحسب المنسوب الجديد Z_{M2} من العلاقة :

$$Z_{M2} = aX_M + b \quad \text{......................} \quad (22\text{-}9)$$



شكل-9-11- إشتقاق مناسيب نقاط المقطع العرضي من معادلة خط التوسط (LINE OF BEST FIT)

حيث ترمز XM إلى الأحداثي السيني للنقطة M من المقطع العرضي المعتبر. بالمثل يمكن حساب المنسوب الجديد لأي نقطة أخرى من نفس المقطع العرضي (التي تمثل النقطة M إحدى نقاطه) بتحديد الأحداثي السيني لها ومن ثم تطبيق المعادلة (9-22) . مرة أخرى ، لاحظ أن قيم المجاهيل b و a في المعادلتين (9-21) و (9-22) تختلف من مقطع عرضي لآخر نظراً لإختلاف مجموعة المناسيب المشكلة لهذا المقطع العرضي أو ذلك.

الآن لحساب مساحة المقطع العرضي المبسط ، يمكن التمييز بين الحالات التالية :

1- عندما يكون المقطع العرضي في منطقة حفر (Cut or Excavation Section)، لنفرض في الشكل (9-12)، أن ABCD يمثل مقطع حفر ولدينا المعطيات التالية :

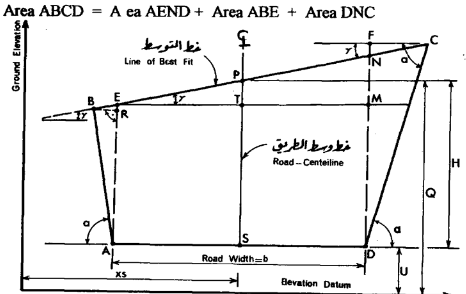
عرض الطريق (Road Width)	b
زاوية ميل جوانب الطريق للمقطع العرضي المعتبر	α
زاوية ميل خط التوسط عن الوضع الأفقي	γ

منسوب الأرض الطبيعية (Ground Level) عند خط وسط الطريق (Road-Centerline) للمقطع العرضي المعتبر. Q

منسوب التصميم (Grade Elevation) عند خط وسط الطريق العرضي المعتبر. U

لحساب مساحة هذا الشكل (ABCD)، يمكن إتباع الخطوات التالية :

Area ABCD = A ea AEND + Area ABE + Area DNC



شكل -9-12- مقطع عرضي في منطقة حفر

أ . مساحة الشكل AEND

Area AEND = Area AEMD + Area EMN

$$\text{Area AEND} = AD \cdot ST + EM \cdot \frac{MN}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23\text{-}9)$$

وحيث أن : AD = EM = b ، وكذلك : $TP = \frac{MN}{2}$ ،

إذن :

$$\text{Area AEND} = b \cdot ST + b \cdot TP = b(ST + TP) = B.H. \quad \ldots \quad (24\text{-}9)$$

ب . مساحة الشكل ABE

$$\text{Area ABE} = (AE/2).BR$$

ومن المثلثين ABR , BRE ، لدينا :

$$\tan\gamma = ER/BR \quad و \quad \tan\alpha = AR/BR$$

$$BR = ER/\tan\gamma = AR/\tan\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25\text{-}9)$$

ولكن :

$$AE = AR + ER \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

إذن :

$$\frac{AE}{\tan\alpha} = \frac{AR}{\tan\alpha} + \frac{ER}{\tan\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26\text{-}9)$$

$$\frac{AE}{\tan\alpha} = \frac{ER}{\tan\gamma} + \frac{ER}{\tan\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27\text{-}9)$$

(لاحظ أن $\frac{AR}{\tan\alpha} = \frac{ER}{\tan\gamma}$ من المعادلة 9-25)

$$\frac{AE}{\tan\alpha} = ER \, \frac{(\tan\alpha + \tan\gamma)}{(\tan\alpha \, . \, \tan\gamma)}$$

$$ER = \frac{AE \, . \tan\gamma}{\tan\alpha + \tan\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (28\text{-}9)$$

ومن المعادلة (9-25) ، لدينا :

$$BR = \frac{ER}{\tan\gamma}$$

$$BR = \left(\frac{AE \tan\gamma}{(\tan\alpha + \tan\gamma)}\right) . \frac{1}{\tan\gamma} = \frac{AE}{\tan\alpha + \tan\gamma} \quad \ldots\ldots \quad (29\text{-}9)$$

$$AE = ST = H - PT = H - \frac{MN}{2} = H - \frac{b \tan\gamma}{2} \quad \ldots\ldots \quad (30\text{-}9)$$

أخيراً من المعادلتين (9-71) و (9-72) يصبح لدينا :

$$\text{Area ABE} = \frac{AE}{2} \cdot BR = \frac{(AE)^2}{2(\tan\alpha + \tan\gamma)} = \frac{(H - \frac{b\tan\gamma}{2})^2}{2(\tan\alpha + \tan\gamma)} \quad (31\text{-}9)$$

جـ . مساحةالمثلث DNC

$$\underline{\text{Area DNC}} = \frac{DN}{2} \cdot CF$$

ومن المثلثين DFC , NFC ، لدينا :

$$\tan\alpha = \frac{DF}{FC}, \quad \tan\gamma = \frac{FN}{FC}, \quad \text{thus :}$$

$$FC = \frac{DF}{\tan\alpha} = \frac{FN}{\tan\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32\text{-}9)$$

ولكن DN = DF - FN ، إذن :

$$\frac{DN}{\tan\alpha} = \frac{DF}{\tan\alpha} - \frac{FN}{\tan\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (33\text{-}9)$$

ومن المعادلتين (9-32) و (9-33) :

$$\frac{DN}{\tan\alpha} = \frac{FN}{\tan\gamma} - \frac{FN}{\tan\alpha} = \frac{FN(\tan\alpha - \tan\gamma)}{\tan\alpha \cdot \tan\gamma} \quad \ldots\ldots \quad (34\text{-}9)$$

وعليه فإن :

$$\text{Consequently}, \ FN = \frac{DN \cdot \tan\gamma}{\tan\alpha - \tan\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (35\text{-}9)$$

(FCN لاحظ المثلث) $FC = FN / \tan\gamma$ .... (36-9)

ومن المعادلتين (9-35) و (9-36) ، لدينا :

$$FC = \frac{DN}{\tan\alpha - \tan\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (37\text{-}9)$$

$$DN = SP + \frac{MN}{2} = H + \frac{b.\tan\gamma}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38\text{-}9)$$

$$\text{Area DNC} = \frac{DN}{2} \, . \, FC = \frac{(DN)^2}{2(\tan\alpha - \tan\gamma)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (39\text{-}9)$$

ومن المعادلتين (9- 38) و (9- 39) :

$$\text{Area DNC} = \frac{\left(H + \frac{b.\tan\gamma}{2}\right)^2}{2(\tan\alpha - \tan\gamma)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (40\text{-}9)$$

وبالتالي فإن مساحة الشكل ABCD بكامله تساوي :

$$\text{Area ABCD} = \text{Area AEND} + \text{Area ABE} + \text{Area DNC}$$

$$\text{Area ABCD} = b.H + \frac{\left(H - \frac{b.\tan\gamma}{2}\right)^2}{2(\tan\alpha - \tan\gamma)} + \frac{\left(H + \frac{b.\tan\gamma}{2}\right)^2}{2(\tan\alpha - \tan\gamma)} \quad \ldots\ldots (41\text{-}9)$$

حيث أن : $H = Q - U$

في المعادلة (9- 41)، تعتبر قيمة H مساوية لعمق الحفر المطلوب عند نقطة منتصف الطريق للمقطع العرضي المعتبر. أما قيمة U (Grade Elevation) فيحددها المهندس المصمم لكل مقطع عرضي في ضوء خط التصميم المقترح (Vertical Alignment) والمطبق على المقطع الطولي (Longitudinal Profile). بالنسبة لقيمة Q (Ground Elevation at the Road-Cernterline) فيجري حسابها بتعويض الأحداثي السيني لنقطة منتصف الطريق من المقطع العرضي المعتبر (النقطة S أو النقطة P في الشكل

(9-12) في معادلة خط التوسط ($Z = ax + b$) الخاصـة بهذا المقطع العرضـي. فـإذا فرضنا، على سبيل المثال أن الأحداثي السيني لنقطة منتصف الطريق (S) من مقطع عرضي معين يساوي x_s ، فإن قيمة Q بهذا المقطع العرضي تساوي :

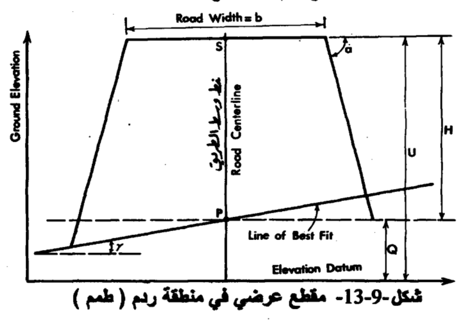
$$Q = a x_s + b \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (9\text{-}42)$$

2- عندما يكون المقطع العرضي في منطقة ردم (Fill or Embankment Section)

لحساب مساحة مقطع عرضي يقع بكامله في منطقة ردم (طمم)، يمكـن إتبـاع نفس خطـوات حساب مساحة مقطع عرضي يقع في منطقة حفر (البنـد أعـلاه) فينتـج لدينـا معادلـة مطابقـة تماماً للمعادلة (9-41) مع ملاحظـة أن قيمـة H فـي المعادلـة (9-41) تكـون مسـاويةهنا $|Q - U|$ كما هو الحال لـو كـان المقطـع فـي منطقـة حفـر (أنظـر الشـكلين (9-12) و(9-13) .

3- عندما يكون المقطع العرضي مختلطاً (Sidehill Section)

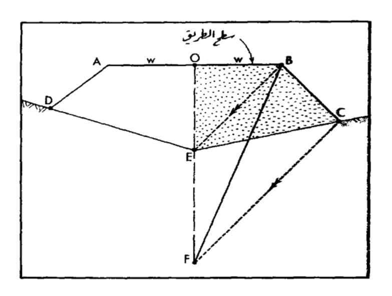
في حالة مقطع عرضي يقع جزئياً في منطقة حفر وجزئياً في منطقـة ردم فإنـه يجـري حسـاب مساحة جزء الحفر بتطبيـق المعـادلات الخاصـة بمقـاطع الحفر وحسـاب مسـاحة جـزء الـردم بتطبيق المعادلات الخاصة بمقاطع الردم وتجمعان مع بعض.



شكل-9-13- مقطع عرضي في منطقة ردم (طمم)

9-5- الطرق التخطيطية في حساب مساحات المقاطع العرضية [م55]

يمكن أيضاً حساب مساحة المقطع العرضي بطريقة تخطيطية، ففي الشكل (9-14)، على سبيل المثال ، يمكن إستبدال المثلث OBF بالجزء OBCE من المقطع العرضي. من الشكل نفسه نلاحظ أنه بوصل الخط BE ورسم الخط الموازي لـه CF يتشكل لدينا مثلثان متكافئان BEF و BEC حيث يشتركان بنفس القاعدة BE ويملكان نفس الإرتفاع وعليه فإننا نضم المثلث BEF (بدلاً من المثلث BEC) إلى المثلث OBE لينتج لدينا المثلث OBF المكافئ في المساحة لجزء المقطع العرضي OBCE. إن مساحة المثلث OBF تساوي حاصل ضرب نصف عرض الطريق OB بنصف الإرتفاع OF. بالمثل يمكن حساب مساحة الجزء الأيسر من هذا المقطع العرضي.



شكل -9-14- حساب مساحة المقطع العرضي بطريقة تخطيطية

-9-6- الطرق الميكانيكية :

يلزم في حالات المقاطع العرضية التي يكون فيها سطح الأرض الطبيعية وعراً، قياس مناسيب أكثر من ثلاث أو خمس نقاط وذلك لتمثيل سطح الأرض بشكل جيد. لحساب مساحة مثل هذه

المقاطع، يمكن تجزئة كل مقطع إلى عدة مثلثات وأشباه منحرفة وأشكال هندسية أخرى منتظمة وتطبيق العلاقات الرياضية الخاصة بحساب مساحاتها. كذلك يمكن اللجوء إلى طريقة الأحداثيات في حساب مساحات مثل هذه الأشكال. ولكن على الرغم من دقة هذه الطرق إلا أنها جميعاً تستهلك وقتاً طويلاً نسبياً للإعداد وإجراء الحسابات. بسبب هذا يمكن اللجوء إلى الطرق الميكانيكية وذلك بقياس المساحة بواسطة جهاز البلانبميتر بعد رسم المقطع العرضي على ورقة رسم مليمتري بمقياس أفقي ومقياس رأسي مناسبين.

لقد سبق أن شرحنا طريقة إستعمال وقراءة البلانيميتر وبقي أن نشير هنا إلى أنه يمكن بإستخدام جهاز البلانيميتر تحقيق دقة تصل إلى 1% (وربما أفضل حسب دقة رسم الأشكال المقيسة ونوع الورق الحاوي لها والقياسات الحقليةالتي رسمت الأشكال بموجبها) في قياس مساحات الأشكال الغير منتظمة بشكل عام والمقاطع العرضية ذات الحدود المتعرجة كثيراً أو المنحنية او كليهما معاً بشكل خاص خصوصاً عند أخذ الحيطة والإنتباه في القياس. أخيراً، إن إستخدام البلانيميتر في قياس مساحات المقاطع العرضية شائع بكثرة في مشاريع الطرق بسبب سرعته ودقته الكافية خصوصاً إذا أعيد القياس مرتين أو أكثر وبإتجاهات متعاكسة. ولا بد أن نذكر أيضاً أن إستخدام الحاسوب والبرامج الجاهزة ذات العلاقة يزداد بشكل مضطرد.

مســائل

9 - 1 ما هي الفوائد الأساسية العملية لعمل وحساب مساحات المقــاطع العرضيــة في مشاريع الطرق ؟

9 - 2 لديك المعطيات التالية لمقطع عرضي (حفر)

* عرض سطح الطريق : (16 m) .
* ميل جوانب الطريق : (1 : 2) .
* $d\ell = 12.25m$, $dr = 14.15m$
* مساحة المقطع العرضي (مساحة الحفر) : ($73.25m^2$) .
* ميل الأرض الطبيعية منتظم .

المطلوب حساب ارتفاع الحفر عند نقطة وسط الطريق .

9 - 3 لديك مقطع عرضي يقع في منطقة سهلية ، ارتفاع الحفر عند نقطة وسط الطريق يساوي (2.23m) وعرض الطريق (16 m) وميل الجوانب (1: 2) ، المطلــوب حساب مساحة هذا المقطع .

9 - 4 نفس المعطيات والمطلوب في المسألة (9-3) ولكن على أساس مقطع ردم وليــس مقطع حفر .

9 - 5 احسب مساحة المقطع العرضي وفقاً للجدول التالي :

	يسار	وسط	يمين
عمق الردم	4.12m	3.11m	3.59 m
المسافة من وسط الطريق	14.6m	0.0	12.56m

علماً بأن عرض سطح الطريق يساوي (16m) .

6 - 9 مقطع عرضي بالمواصفات الواردة في الجدول التـــالي مســـاحته $105.6m^2$ ، المطلوب حساب عرض سطح الطريق.

	يسار	وسط	يمين
عمق الحفر	3.76m	2.13m	2.19 m
المسافة من وسط الطريق	11.29m	0.0	8.28m

7- 9 احسب مساحة المقطع العرضي وفق معطيات الجدول التالي علماً بـــأن عـــرض الطريق (20m) .

عمق الحفر	0.0	1.82m	1.29m	2.05m	0.0
المسافة من وسط الطريق	17.2m	11.29m	0.00	11.11m	16.01m

8 - 9 نفس المسألة (9-7) ولكن على اعتبار أن المقطع ردم وعرض الطريق (16m) .

9 - 9 لديك المعطيات التالية على أساس الشكل (9-6) وباعتبار عرض سطح الطريـــق يساوي 16m .

	يسار (m)		وسط (m)	يمين (m)	
عمق الحفر	2.72	3.21	4.11	3.24	3.68
المسافة من وسط الطريق	6.23	5.48	0.0	6.11	4.23

المطلوب حساب مساحة هذا المقطع العرضي بطريقة الإحداثيات .

10-9 نفس المعطيات والمطلوب في المسألة (9-9) ولكن بافتراض أن المقطـــع ردم وأن عرض الطريق (20m) .

11-9 لديك المعطيات التالية لمقطع عرضي في طريق :

* عرض سطح الطريق : 12 m
* ميل جوانب الطريق : 1 : 2
* ميل خط التوسـط : 1 : 3
* منسوب الأرض الطبيعية

عند خط الوسـط : 623.29m

* منسوب التصميم : 627.14

المطلوب حساب مساحة المقطع العرضي .

12- 9 نفس المسألة (9-11) ولكن على أساس أن منسوب الأرض الطبيعية عند خط الوسط يساوي (631.34m) .

- 10 -

– الفصل العاشر –

حســاب الحجـوم

COMPUTATION OF VOLUMES

10- حساب الحجوم (Computation of Volumes) [م55]

10-1- مقدمة (Introduction)

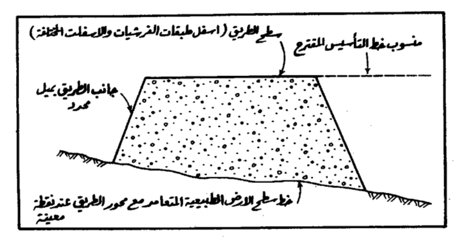
يلزم في كثير من مشاريع الهندسة المدنية، كمشاريع الطرق والسكك الحديدة والمطارات وأقنية الري والسدود وأعمال العمران وتمديدات الماء والكهرباء والمجاري . . . الخ معرفة كميات الخرسانة وأحجام الحفريات (Excavation or Cuts) والردميات (Embankments of Fills) المطلوبة للوصول إلى منسوب معين. قد يلزم أيضاً معرفة كميات الحصمة والرمل والدبش . . . الخ أو أحجام صهاريج وأحواض المياه ومخازن الغلال وما شابه ذلك. وفي مجالات الهندسة الزراعية والجيولوجية والهيدرولوجية والتعدينية، كثيراً ما يحتاج المهندسون المختصون إلى حساب الكميات من أنواع مختلفة بالإستناد إلى المخططات أو الخرائط أو جداول المناسيب والأحداثيات. هناك بالطبع عدة طرق رياضية تمكن من حساب الحجوم المطلوبة ولكنها على درجة متفاوتة من الدقة خصوصاً إذا كان الحجم المطلوب حسابه واقعاً ضمن شكل هندسي (Geometric Shape) غير منتظم. إن عملية الحساب هذه تتطلب عملاً ميدانياً وآخر مكتبياً، أما العمل الميداني فيشتمل على قياس أبعاد الجسم المعتبر ودق أوتاد أو علامات مناسبة في مواقع محددة من هذا الجسم، وأما العمل المكتبي فقد يشتمل على حساب الحجوم من الأبعاد المقيسة وتخطيط أفضل الطرق لتنفيذ العمل. في أحيان كثيرة، يمكن اللجوء إلى الصور والمخططات والخرائط المتوفرة (والموثوق بدقتها وصلاحيتها) لحساب الحجوم المطلوبة دون الحاجة إلى أعمال ميدانية معتبرة (أي ربما يلزم فقط بعض القياسات الميدانية المحدودة لأغراض المقارنة وتحقيق الحسابات على سبيل المثال). نستعرض فيما يلي بعض الطرق الشائعة في حساب الحجوم .

10-2- الطرق الشائعة في حساب الحجوم

10-2-1- طريقة المقاطع العرضية (Cross-Section Method)

سبق أن عرفنا المقطع العرضي بأنه خط سطح الأرض الطبيعية المتعامد مع إتجاه محدد (Fixed Direction) عند نقطة معينة من محور مشروع ما. فإذا كان المقطع العرضي

وعرض هذا الطريق وميوله الجانبية، يمكن حساب مساحة السطح الترابي المحصور بين خط سطح الأرض الطبيعية وخط سطح الطريق وميوله الجانبية (الجزء المنقط من الشكل 10-1) عند نقطة معينة على محور الطريق.



شكل 10-1- مقطع عرضي في طريق مقترح

الشكل (10-2)، يبين أيضاً مقطعاً عرضياً في سطح الأرض لحوض تخزين مائي (Water Reservoir) . يتضح من هذا الشكل أنه بمعرفة منسوب سطح المياه المقترح (Proposed Water Lever) يمكن حساب مساحة السطح المائي المحصور بين سطح الأرض الطبيعية وخط سطح الماء. بأخذ مقاطع عرضية متتالية وعلى مسافات محددة من بعضها وبمعرفة عناصر التصميم المختلفة للمشروع عند كل من هذه المقاطع، يمكن أولاً حساب المساحات المشمولة في هذه المقاطع وثانياً حساب الحجوم الواقعة بين هذه المقاطع كافة.

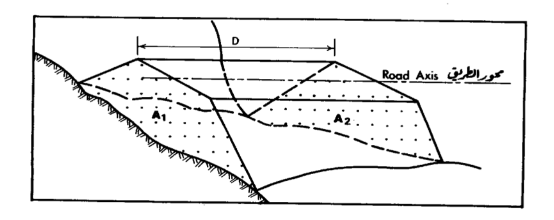


شكل 10-2- مقطع عرضي في حوض تخزين مائي.

سنفترض في الفقرات التالية أنه قد تم حساب مساحات مختلف أنواع المقاطع العرضية المتتالية بإستخدام إحدى الطرق المناسبة الواردة في القسم الأول، والمطلوب حساب الحجوم بمعلومية هذه المساحات.[م51]

أ . حساب الحجوم بطريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method)

في هذه الطريقة، يفترض أن ميل سطح الأرض منتظماً بين كل مقطعين متتاليين وبالتالي فإنه لحساب حجم المادة (الماء أو الخرسانة أو الكميات الترابية . . . . الخ) بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يؤخذ معدل مساحتي هذين المقطعين ويضرب في المسافة الفاصلة بينهما. دعنا، على سبيل المثال، نفترض أن لدينا مقطعين عرضيين متتاليين مساحتاهما A2 و A1 يقعان كلياً في منطقة حفر (Cut or Excavation Sections) أو كلياً في منطقة ردم (Fill or Embankment Sections) ويتباعدان بمسافة مقدارها D، شكل (3-10)، فيكون حجم المادة المحصورة بينهما المطلوب إزالتها (حفر) أو إضافتها (ردم) مساوياً :



شكل -3-10- مقطعان متتاليان في منطقة ردم كامل

$$V = D \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}10)$$

وعليه إذا كان لدينا سلسلة من المقاطع العرضية المتتالية عددها n وبمسافة ثابتة D بين كل مقطعين عرضيين متتاليين وواقعين كليا في منطقة حفر أو كلياً في منطقة ردم، يكون الحجم الكلي التراكمي بين المقطع الأول والأخير المراد إزالته أو إضافته مساوياً :

$$V = D\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) + D\left(\frac{A_2 + A_3}{2}\right) + \ldots + D\left(\frac{A_{n-1} + A_n}{2}\right)$$

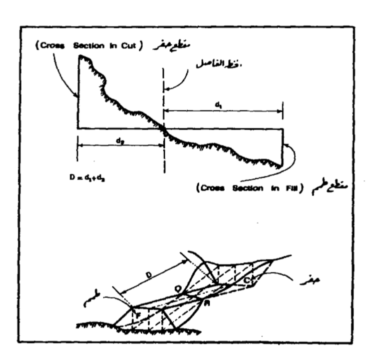
$$V = \frac{D}{2}\left[A_1 + A_n + 2(A_2 + A_3 + A_4 + \ldots + A_{n-1})\right]$$

$$V = \frac{D}{2}\ (\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area}$$

$$+\ 2 \times \text{All Remaining Cross-Section Areas})$$

ملحوظـــــات :

1- إذا كان أحد المقطعين طمماً والآخر حفراً فيحسب حجم الحفر وحجم الطمم بين هذين المقطعين على الشكل التالي، شكل (4-10).



شكل -4-10- مقطع طمم ومقطع حفر متتاليان

حيث أن أحد المقطعين يقع كلياً في منطقة حفر والآخر يقع كلياً في منطقة ردم فلا بد إذاً أن يكون هناك خط فاصل بين المقطعين يمثل تقاطع سطح الأرض الطبيعية مع سطح الطريق المصمم. يتعامد هذا الخط الفاصل بين المقطعين مع محور الطريق ويبعد عنه كلا المقطعين العرضيين بمسافات تتناسب مع مساحة هذين المقطعين العرضيين . إذا رمزنا بـ d2 و d1 للمسافات الجزئية بين الخط الفاصل وكل من المقطعين العرضيين ورمزنا بـ F لمساحة مقطع الردم أو الطمم وبـ C لمساحة مقطع الحفر وبـ D للمسافة بين مقطعي الحفر والردم فيكون :

المسافة الجزئية d1 بين مقطع الطمم والخط الفاصل تساوي :

$$d_1 = D \frac{F}{F + C} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (3\text{-}10)$$

المسافة الجزئية d2 بين مقطع الحفر والخط الفاصل تساوي :

$$d_2 = D \frac{C}{F + C} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (4\text{-}10)$$

الآن يمكن إعتبار الخط الفاصل أو منحنى الإنتقال من الحفر إلى الردم أو العكس، مستوى أو مقطع مساحته مساوية للصفر ثم نحسب حجم الطمم الواقع بين الخط الفاصل ذي المساحة صفر ومقطع الطمم بإيجاد معدل المساحتين وضربه بالمسافة d1 أي :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (0.0 + F)(d_1)$$

وكذلك نحسب حجم الحفر الواقع بين الخط الفاصل ذي المساحة صفر ومقطع الحفر بإيجاد معدل المساحتين وضربه بالمسافة d2 أي :

$$V_{cut} = \frac{1}{2} (0.0 + C)(d_2)$$

وبالتعويض عن قيم d2 و d1 بدلالة المساحات من المعادلتين (3-10) ، (4-10) ينتج لدينا :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (0.0 + F)\left(\frac{D.F}{F + C}\right)$$

$$V_{fill} = \frac{1}{2} \left(\frac{F^2}{F + C}\right)(D) \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (5\text{-}10)$$

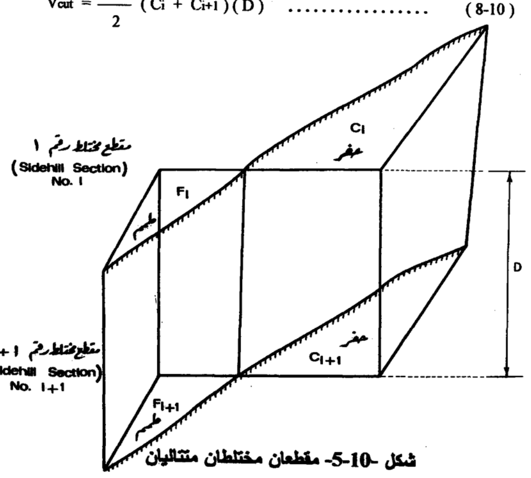
$$V_{cut} = \frac{1}{2} (0.0 + C) \left(\frac{DC}{F + C} \right)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{2} \left(\frac{C^2}{F + C} \right) (D) \quad .... \quad (6\text{-}10)$$

2- إذا كـان كـل مـن المقطعيـن العرضييـن المتتـاليين مقطعـاً مختلطـاً (حفـر وردم)، شـكل (5-10)، فيحسب حجم الردم بينهمـا بـأخذ معدل مسـاحتي الـردم فـي المقطعين وضربـه بالمسافة بين المقطعين وكذلك يحسب حجم الحفر بأخذ معدل مساحتي الحفـر فـي المقطعيـن وضربه بالمسافة بين المقطعين، أي :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (F_i + F_{i+1}) (D) \quad .... \quad (7\text{-}10)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{2} (C_i + C_{i+1}) (D) \quad .... \quad (8\text{-}10)$$



شكل -5-10- مقطعان مختلطان متتاليان

3- إذا كان أحد المقطعين مختلطاً (Sidehill Section) والآخر ردماً ، شكل (a-6-10)، فتحسب الحجوم على الشكل التالي :

$$V_{fill} = \frac{1}{2} (F_i + F_{i+1}) (D) \quad .... \quad (9\text{-}10)$$

$$V_{cut} = \frac{1}{3} (C_i) (D) \quad .... \quad (10\text{-}10)$$

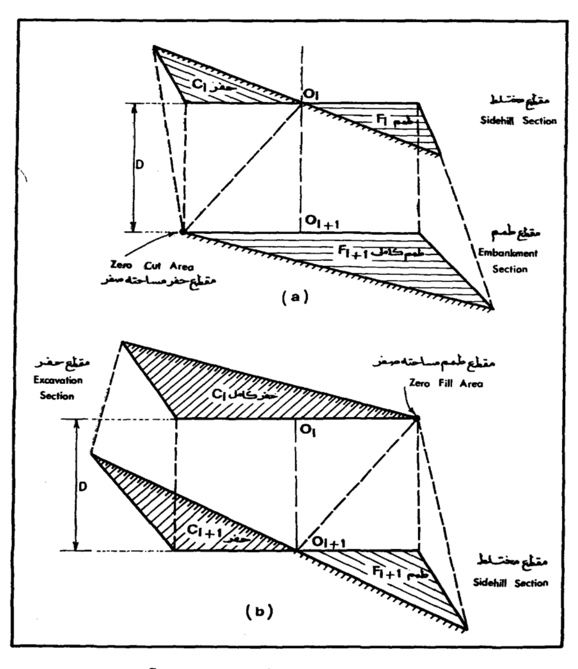
وإذا كان أحد المقطعين مختلطاً والآخر حفراً، شكل (b-6-10)، فتحسب الحجوم على الشكل التالي :

$$V_{fill} = \frac{1}{3} (F_{i+1}) (D) \quad .... \quad (11\text{-}10)$$

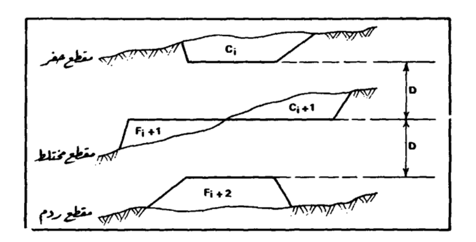
$$V_{cut} = \frac{1}{2} (C_i + C_{i+1}) (D) \quad .... \quad (12\text{-}10)$$

أو

دعنا نفترض أننا سننتقل من منطقة حفر كامل إلى منطقة ردم كامل (أو بالعكس) مروراً بمقطع مختلط شكل (7-10). بإفتراض أن المقطع الأول كله حفر ومساحة الحفر فيه C_i والمقطع الثاني مختلط مساحة الحفر فيه C_{i+1} ومساحةالردم فيه F_{i+1} ، فإنه لا بد أن يكون الردم قد بدأ من نقطة ما تقع بين المقطع الأول والمقطع الثاني.



شكل -6-10- مقطعان متتاليان أحدهما مختلط والآخر إما طمم كامل (a) أو حفر كامل (b) ، [م51]



شكل -7-10-

كذلك حيث أن المقطع الثاني مختلط والمقطع الثالث ردم فيه مساحة الردم Fi+2 فلا بد أن منطقة الحفر قد إنتهت عند نقطة ما تقع بين المقطع الثاني والمقطع الثالث. لحساب حجم الردم بين المقطعين الأول والثاني وحجم الحفر بين المقطعين الثاني والثالث نفترض أن كمية الحفر تتناقص تدريجياً بين المقطعين الأول والثاني وتستمر في التناقص بنفس المعدل حتى تبلغ الصفر في نقطة ما بين المقطعين الثاني والثالث. كذلك نفترض أن كمية الردم تتناقص تدريجياً بين المقطعين الثالث والثاني وتستمر في التناقص بنفس المعدل حتى تبلغ الصفر في نقطة ما بين المقطع الأول والثاني.

إن معدل التناقص في كمية الحفر بين المقطعين الأول والثاني تساوي :

$$\frac{(C_i - C_{i+1})}{D}$$

حيث D هي مقدار التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين. وعليه فإن كمية الحفر تصبح صفراً عند نقطة تبعد عن المقطع الثاني بإتجاه المقطع الثالث بمقدار dc. تحسب المسافة dc بطريقة التناسب أي :

$$\frac{(C_i - C_{i+1})}{D} = \frac{(C_{i+1} - 0.0)}{dc}$$

$$dc = \frac{(D . C_{i+1})}{(C_i - C_{i+1})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13\text{-}10)$$

بذلك تكون كمية الحفر بين المقطعين الأول والثاني مساوية :

$$D\left(\frac{C_i + C_{i+1}}{2}\right)$$

وكمية الحفر بين المقطعين الثاني والثالث مساوية :

$$dc \left(\frac{C_{i+1} + 0.0}{2}\right) = \frac{D}{2}\left(\frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})}\right)$$

ومجموع كمية الحفر بين المقطع الأول والمقطع الثالث تساوي :

$$V_{cut} = \frac{D}{2}\left[(C_i + C_{i+1}) + \frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14\text{-}10)$$

بالنسبة لكمية الردم المطلوبة، بطريقة مشابهة نقول بأن معدل التناقص في الردم بين المقطعين الثالث والثاني يساوي : $\frac{(F_{i+2} - F_{i+1})}{D}$ وكمية الردم تصبح صفراً عند نقطة تبعد عن المقطع الثاني بإتجاه المقطع الأول بمقدار df. تحسب المسافة df بطريقة التناسب، أي :

$$\frac{(F_{i+2} - F_{i+1})}{D} = \frac{(F_{i+1} - 0.0)}{df}$$

$$df = \frac{(D . F_{i+1})}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15\text{-}10)$$

بذلك تكون كمية الردم بين المقطعين الثاني والثالث مساوي :

$$D\left(\frac{F_{i+1} + F_{i+2}}{2}\right)$$

وكمية الردم بين المقطعين الأول والثاني مساوية :

$$d_f\left(\frac{F_{i+1} + 0.0}{2}\right) = \frac{D}{2}\left(\frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})}\right)$$

ومجموع كمية الردم بين المقطع الأول والثالث تساوي :

$$V_{fill} = \frac{D}{2}\left[(F_{i+1} + F_{i+2}) + \left(\frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})}\right)\right] \quad \ldots\ldots \quad (16\text{-}10)$$

تمرين : إفترض أن المقطع العرضي الأول كله ردم يليه مقطع مختلط فمقطع كله حفر، جد معادلتي حساب كميات الحفر والردم بين المقطعين الأول والثاني.

مثال رقم -10-1-

لديك ثلاثة مقاطع عرضية، المقطع العرضي الأول i كله حفر ومساحته $C_i = 12.1\ m^2$، المقطع العرضي الثاني i + 1 مختلط مساحة الحفر فيه : $C_{i+1} = 3.8\ m^2$ ومساحة الردم فيه : $F_{i+1} = 3.45\ m^2$ والمقطع العرضي الثالث i + 2 كله ردم مساحة الردم فيه $F_{i+2} = 9.25\ m^2$. المطلوب حساب كميات الحفر والردم التراكمية بين المقطعين الأول والثالث علماً بأن التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يساوي 20.

الحـــــل :

حجم الحفر بين المقطعين الأول والثالث يساوي (معادلة 10-14) :

$$V_{cut} = \frac{D}{2}\left[(C_i + C_{i+1}) + \frac{(C_{i+1})^2}{(C_i - C_{i+1})}\right]$$

$$V_{cut} = \frac{20}{2} \left[(12.1 + 3.8) + \left(\frac{(3.8)^2}{12.1 - 3.8} \right) \right]$$

$$V_{cut} = 176.40 \ m^3$$

وبتطبيق معادلة (10-16) :

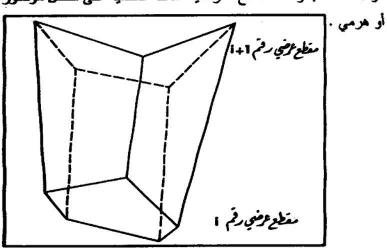
$$V_{fill} = \frac{D}{2} \left[(F_{i+1} + F_{i+2}) + \frac{(F_{i+1})^2}{(F_{i+2} - F_{i+1})} \right]$$

$$V_{fill} = \frac{20}{2} \left[(3.45 + 9.25) + \frac{(3.45)^2}{(9.25 - 3.45)} \right]$$

$$V_{fill} = 147.52 \ m^3$$

ب . حساب الحجوم بطريقة قانون الموشور (**Prismoidal** Formula Method)

نفترض في هذه الطريقة أن كل ثلاثة مقاطع عرضية متتالية تأخذ شكل مستطيلي (Rectangular Prism) أو اسفين موشوري (**Prismatic** Wedge) أو هرم (Pyramid) . لحساب الحجم الكلي نفترض أن المادة تأخذ شكلاً شبه موشوري (Prismoid)، شكل (10-8)، يتكون من سلسلة من المواشير المستطيلة والأسافين (الأوتاد) الموشورية والأهرامات. سنرى في الفقرات التالية أن قانون حساب الحجم ثابت لا يتغير سواء كانت مجموعة المقاطع العرضية الثلاثة المتتالية على شكل موشور مستطيلي أو اسفين أو هرمي .



شكل -10-8- مقطعان عرضيان متتاليان ومتوازيان يتصلان ببعض بواسطة سطوح مستوية متعددة ليست بالضرورة متوازية. المادة بين المقطعين تأخذ شكلاً شبه موشوري

1- حالة الموشور المستطيلي (The Rectangular Prism)

دعنا نفترض في الشكل (10-9)، أن مساحة المقطع العرضي الأول A_1 والثاني A_2 والثالث A_3 وأن المسافة بين كل مقطعين متتاليين تساوي D. بالنظر لكون الموشور مستطيلي فإن $A_1 = A_2 = A_3$ وعليه فإن حجم المادة المحصورة بين المقطع الأول والثالث يساوي :

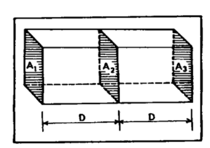
$$Volume = A_1 \times 2D = 2A_1D$$

أو :

$$Volume = \frac{D}{3}(6A_1)$$

أو :

$$Volume = \frac{D}{3}(A_1 + 4A_2 + A_3) \quad .... \quad (17\text{-}10)$$



شكل -10-9- الموشور المستطيلي

2- حالة الاسفين (الوتد) الموشوري (The Prismatic Wedge)

بإفتراض أن مساحة المقطع العرضي الأول A_1 والثاني A_2 والثالث A_3 وأن المسافة بين كل مقطعين متتاليين D، شكل (10-10)، فإن حجم المادة المحصورة بين المقطع الأول والثالث تساوي :

$$Volume = \frac{A_1}{2} \times 2D = A_1D = \frac{D}{3}(3A_1)$$

وحيث أن :

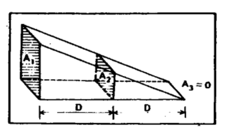
$$A_3 = 0 \quad , \quad A_2 = \frac{A_1}{2}$$

فإن :

$$3A_1 = A_1 + 4A_2 + A_3$$

$$Volume = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

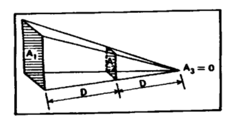
وهي نفس المعادلة (10-17).



شكل 10-10- الاسفين الموشوري

3- حالة الهرم (The Pyramid)

كذلك في حالة الهرم، إذا كانت مساحة المقطع العرضي الأول A1 والثـاني A2 والمسـافة بيـن كل مقطعين متتاليين D ، شكل (10-11)، فـإن حجـم المـادة المحصـورة بيـن المقطـع الأول والثالث يساوي :



شكل -10-11- الهرم

$$Volume = \frac{A_1}{3} \times 2D = \frac{D}{3} (2A_1)$$

وحيث أن :

$$A_1 = 4A_2$$

فإن :

$$2A_1 = A_1 + 4A_2 + A_3$$

وبالتالي فإن حجم المادة يعطى بالعلاقة :

$$\text{Volume} = \frac{D}{3}(A_1 + 4A_2 + A_3)$$

وهي نفس المعادلة (10-17).

في الحالات الثلاثة آنفة الذكر (الموشور المستطيلي والاسفين والهرم)، إذا كان لدينا عدة مجموعات متتالية من المقاطع العرضية كل مجموعة منها تتألف من ثلاثة مقاطع عرضية متتالية وكل مقطعين عرضيين متتاليين يتباعدان بمسافة ثابتة D فإن الحجم الكلي التراكمي المحصور بين المقطع الأول رقم 1 من المجموعة الأولى والمقطع الأخير رقم n من المجموعة الأخيرة يساوي :

$$\text{Volume} = \frac{D}{3}[(A_1 + 4A_2 + A_3) + (A_3 + 4A_4 + A_5) + \ldots\ldots\ldots + (A_{n-2} + 4A_{n-1}\ A_n)]$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{3}[A_1 + A_n + 4(A_2 + A_4 + A_6 + \ldots. + A_{n-1}) + 2(A_3 + A_5 + A_6 + A_7 + \ldots + A_{n-2})] \quad \ldots\ldots \quad (18\text{-}10)$$

$$\text{Volume} = \frac{D}{2}[\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area} + 4(\text{Sum of all Even Cross-Section Areas}) + 2(\text{Sum of all Remaining Odd-Section Areas})]$$

ملحوظات :

1- بخلاف طريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method) التي يمكن تطبيقها على أي عدد من المقاطع العرضية سواء كان زوجياً أم فردياً، فإن طريقة قانون الموشور (Prismoidal Formula) لا تطبق الا على عدد فردي من المقاطع العرضية ذلك لأنها بنيت على أساس مجاميع كل منها مكون من ثلاثة مقاطع (أي عدد فردي) . لذلك ، إذا كان عدد المقاطع العرضية زوجياً فيجري تطبيق طريقة قانون

الموشور على العدد الفردي الأعظمي من المقاطع العرضية المتباعدة عن بعضها بمسافات متساوية ثم حساب حجم الجزء المتبقي بتطبيق طريقة المقطع الوسطي.

2- ليس من الضروري عند تطبيق طريقة قانون الموشور أن يكون التباعد متساوياً بين كافة المقاطع العرضية إذ يمكن أن يكون لدينا عدة فئات، كل فئة تختلف عن الأخرى من حيث عدد المقاطع الفردية أو من حيث التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين أو من حيث العدد والتباعد معاً.

3- نلاحظ أن قانون حساب الحجوم بتطبيق طريقة قانون الموشور يشبه تماماً من حيث الشكل قاعدة سمبسون (Simpson’s Rule) في حساب المساحات. إن الفرق الواضح بينهما هو أن مساحات المقاطع العرضية عند حساب الحجوم تحل محل أطوال الأعمدة في قانون حساب المساحات.

4- إن حساب حجوم الحفر والردم سواء بطريقة المقطع الوسطي أو بطريقة قانون الموشور يعطي دقة مناسبة وكافية فيما إذا كانت الأرض الطبيعية ما بين المقطعين المتجاورين منتظمة نسبياً وأن الخطأ الناتج يكون تارة موجباً وتارة أخرى سالباً أي يلغي بعضه بعضاً.

مثال رقم -10-2-

أخذت مقاطع عرضية على محور طريق مقترح وحسبت مساحاتها بعد أخذ عناصر التصميم (عرض الطريق ومنسوب التصميم وميول الجوانب) بعين الإعتبار فكانت واقعة جميعاً في منطقة ردم وبالمقادير التالية :

رقم المقطع العرضي Cross-Section No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
التدريج أو المحطة Chaniage	0.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	155.0
مساحة الردم Area of Fill (m^2)	10.5	12.6	13.4	13.1	16.7	16.2	16.0	14.3	13.2

المطلوب حساب كمية الردم اللازمة بين المقطع الأرضي رقم 1 والمقطع العرضي رقم 9 بإستخدام طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور.

الحـــــل :

أ . بطريقة المقطع الوسطي (Average End-Area Method)

نلاحظ أن المسافة بين كل مقطعين عرضيين متتاليين متساوية حتى المقطع العرضي رقم 8 وتساوي 20m، اما المسافة بين المقطعين الثامن والتاسع فتختلف إذ تساوي 15m، لذلك سنحسب أولاً حجم الردم المطلوب بين المقطع رقم 1 والمقطع رقم 8 ثم بعدها وبشكل مستقل نحسب الحجم بين المقطع العرضي رقم 8 والمقطع رقم 9 ثم نجمع الحجمين فينتج الحجم الكلي المطلوب ، أي :

$$Volume = \frac{D}{2} [A_1 + A_n + 2 (A_2 + A_3 + \ldots + A_{n-1})]$$

حيث هنا : $n = 8$

$$Volume_1 = \frac{D}{2} [(A_1 + A_8 + 2 (A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7)]$$

$$Volume_1 = \frac{20}{2} [(10.5 + 14.3) + 2 (12.6 + 13.4 + 13.1 + 16.7 + 16.2 + 16.0)]$$

$$Volume_1 = 2008 \ m^3$$

$$Volume_2 = \frac{D}{2} (A_8 + A_9)$$

$$Volume_2 = \frac{15}{2} (14.3 + 13.2) = 206.25 m^3$$

$$Total\ Volume = Volume_1 + Volume_2 = 2008 + 206.25 = 2214.25 m^2$$

ب. بطريقة قانون الموشور (Prismoidal Formula)

هنا على الرغم من تساوي المسافات بين المقاطع العرضية حتى المقطع رقم 8 غير أننا لا نطبق قانون الموشور الا على المقاطع السبعة الأولى بإعتبارها العدد الفردي الأعظم. أما حجم المادة بين المقطع السابع والمقطع التاسع فيجري حسابه بتطبيق طريق المقطع الوسطي ، أي :

$$Volume_1 = \frac{D}{3} [A_1 + A_n + 4 (A_2 + A_4 + \ldots + A_{n-1}) + 2 (A_3 + \ldots + A_{n-2})]$$

$$Volume_1 = \frac{D}{3} [A_1 + A_7 + 4 (A_2 + A_4 + A_6) + 2 (A_3 + A_5)]$$

$$Volume_1 = \frac{20}{3} [10.5 + 16.0 + 4 (12.6 + 13.1 + 16.2) + 2 (13.4 + 16.7)]$$

$$Volume_1 = 1695.33 m^3$$

$$Volume_2 = \frac{20}{2} (A_7 + A_8) + \frac{15}{2} (A_8 + A_9)$$

$$Volume_2 = 10 (16 + 14.3) + 7.5 (14.3 + 13.2) = 509.25 m^3$$

$$Total\ Volume = Volume_1 + Volume_2 = 2204.58 m^3$$

ملحوظـــــات :

1- لاحظ أن الفرق بين الكميتين المحسوبتين بطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور بسـيط وهو ناشئ عن كون كلتي الطريقتين تقريبيتان وإن كانت طريقة قانون الموشـور أكثر دقـة

من طريقة المقطع الوسطي . على كل حال ، إن مقدار الإختلاف بين الطريقتين يتغير من حالة لأخرى (حسب طبيعة أرض المشروع ودقة قياس المناسيب وتباعدات المقاطع عن بعضها) ولكن يبقى بسيطاً مقارنة بالحجم الكلي .

2- لمعرفة الفرق بين الحجم الذي تعطيه طريقة المقطع الوسطي والحجم الذي تعطيه طريقة قانون الموشور ، دعنا نفترض أن لدينا مجموعة من ثلاثة مقاطع عرضية متتالية مساحاتها A3 و A2 وA1 وتتباعد عن بعض بمسافة D . كذلك دعنا نرمز بـ V_E للحجم الناتج بتطبيق طريقة المقطع الوسطي وبـ V_P للحجم الناتج بتطبيق طريقة قانون الموشور ، وعليه فإن :

$$V_E = \frac{D}{2}(A1 + 2A2 + A3)$$

$$V_P = \frac{D}{3}(A1 + 4A2 + A3)$$

ومقدار الفرق أو التصحيح اللازم إدخاله على الحجم الناتج بتطبيق طريقة المقطع الوسطي يساوي :

$$Correction = V_E - V_P$$

$$Correction = \frac{D}{2}(A1 + 2A2 + A3) - \frac{D}{3}(A1 - 4A2 - A3)$$

$$Correction = \frac{D}{6}(3A1 + 6A2 + 3A3 - 2A1 - 8A2 - 2A3)$$

$$Correction = \frac{D}{6}(A_1 - 2A_2 + A_3)$$

وبالتالي إذا كان لدينا عدة مجموعات متتالية كل واحدة مكونة من ثلاثة مقاطع متتالية فإن مقدار التصحيح يصبح مساوياً (المسافات متساوية بين المقاطع المتتالية) :

$$Correction = \frac{D}{6}(A_1 - 2A_2 + A_3) + \frac{D}{6}(A_3 - 2A_4 + A_5) + \ldots + \frac{D}{6}(A_{n-2} - 2A_{n-1} + A_n)$$

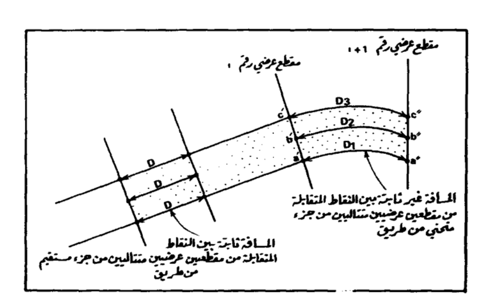
$$Correction = \frac{D}{6}[A_1 + A_n - 2(A_2 + A_4 + A_6 + \ldots + A_{n-1}) + 2(A_3 + A_5 + \ldots + A_{n-2})] \ldots \quad (19\text{-}10)$$

$$Correction = \frac{D}{6}[\text{First Cross-Section Area} + \text{Last Cross-Section Area} - 2 \times \text{Sum of all even Cross-Section Areas} + 2 \times \text{Sum of all Remaining Odd Cross-Section Areas}]$$

حيث n تساوي العدد الفردي الأعظمي للمقاطع العرضية المتباعدة بمسافات متساوية.

من الضروري إجراء التصحيح هذا (Prismoidal Correction) على الحجم الناتج بطريقة المقطع الوسطي وذلك بطرحه إن كان موجباً وإضافته إن كان سالباً.

3- عند مناطق المنحنيات الأفقية (Horizontal Curves) من الطريق ، لا تكون المسافات بين النقاط المتقابلة من المقاطع العرضية المتجاورة متساوية وثابتة بل تكون أقرب لبعضها كلما إقتربت من الجزء الداخلي للمنحنى (جهة مركز التقوس) . في الشكل (10-12) ، على سبيل المثال ، النقاط c' و b' و a' واقعة على مقطع عرضي رقم i وتقابل النقاط c'' و b'' و a'' من المقطع العرضي رقم $i + 1$ وكلا المقطعين واقعان على أحد الأجزاء المنحنية من الطريق .



شكل -10-12- [م55]

إن المسافة D1 بين النقطتين a″ و a′ أصغر من المسافة D2 بين النقطتين b″ و b′ وهذه الأخيرة بدورها أصغر من المسافة D3 بين النقطتين c″ و c′ . ينجم عن هذا خطأ في تقدير الكميات بتطبيق طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور . يمكن تصحيح هذا الخطأ بإستبدال المسافة Dc (المسافة بين مركزي ثقل المقطعين المتتاليين) بالمسافة D (الواردة في معادلات حساب الحجوم السابقة) . على كل حال ، يندر عملياً أخذ هذا التصحيح بعين الإعتبار بالنظر للأسباب التالية :

أ . في حالات كثيرة ، يكون مقدار الخطأ هذا اصغر من التباين الذي ينشأ عند حساب حجم المادة بطريقتين مختلفتين كطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور .

ب . تعتبر المسافة بين كل مقطعين عرضيين متتاليين صغيرة إذا ما قورنت بنصف قطر المنحنى الأفقي للطريق .

جـ . إن هذا الخطأ ذو طبيعة تعويضية ، أي ان الفروق تكون تارة بالزيادة وتارة أخرى بالنقصان ويتلاشى الجانب الأعظم منها عند حساب الحجم الكلي على طول المنحنى الأفقي .

مثال رقم 10-3-

إحسب الفرق بين كميتي الردم الناتجتين عن تطبيق طريقة المقطع الوسطي وطريقة قانون الموشور على المعلومات الواردة في المثال رقم (10-2) حسب المعادلة (10-19) .

الحـــــل :

حيث أن طريقة قانون الموشور قد طبقت فقط على العدد الفردي الأعظمي للمقاطع العرضية في المثال رقم (10-2) والبالغ سبعه بينما يجري تطبيق المقطع الوسطي على الجزء المحصور بين المقطع السابع والمقطع التاسع (المقطع الأخير) ، لذا فلا إختلاف بين الطريقتين فيما يتعلق بهذا الجزء وإنما الإختلاف ناجم فقط عن حساب الحجم المحصور بين المقطع الأول والمقطع السابع وعليه :

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [A_1 + A_n - 2 (A_2 + A_4 + \ldots + A_{n-1}) + 2 (A_3 + \ldots + A_{n-2})]$$

$$\text{Correction} = \frac{D}{6} [A_1 + A_7 - 2 (A_2 + A_4 + A_6) + 2 (A_3 + A_5)]$$

$$\text{Correction} = \frac{20}{6} [10.5 + 16.0 - 2 (12.6 + 13.1 + 16.2) + 2 (13.4 + 16.7)]$$

$$\text{Correction} = 9.7 \text{ m}^3$$

وبالفعل فقد كان الحجم المحسوب بطريقة المقطع الوسطي مساوياً $2214.25m^3$ والحجم المحسوب بطريقة قانون الموشور مساوياً $2204.58m^3$ ، أي أن الفرق يساوي أيضاً :

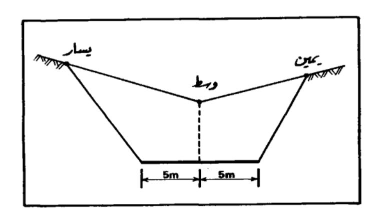
$2214.25 - 2204.58 = +9.7\ m^3$ إن هذا الفرق الموجب يجب أن يطرح من المقدار المحسوب بطريقة المقطع الوسطي .

مثال رقم 10-4-

لديك المقطعان العرضيان i + 1 و i التاليان ، شكل رقم (10-13) :

Cross-Section No. رقم المقطع	Left يسار	Center وسط	Right يمين
i	$\frac{C2.81}{12.9}$	$\frac{C1.89}{0.00}$	$\frac{C2.19}{12.4}$
i + 1	$\frac{C2.01}{11.50}$	$\frac{C1.25}{0.00}$	$\frac{C1.73}{11.90}$

المطلوب حساب حجم التربة بين هذين المقطعين بطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور علماً بأن المسافة D بينهما تساوي 30m وعرض الطريق 10m .



شكل -10-13- الشكل العام للمقطعين العرضيين i , i + 1 في المثال رقم 4-2

الحـــــل :

أ . بطريقة المقطع الوسطي

يمكن حساب مساحة المقطع الأول i بتطبيق المعادلة (10-45)

$$Area = \frac{W}{2}(h_l + h_r) + \frac{V}{2}(d_l + d_r)$$

حيث :

$$W = \frac{10}{2} = 5m \quad , \quad h_l = 2.81m \quad , \quad h_r = 2.19m$$

$$V = 1.89m \quad , \quad d_l = 12.9m \quad , \quad d_r = 12.4m$$

$$Area_1 = \frac{5}{2}(2.81 + 2.19) + \frac{1.89}{2}(12.9 + 12.4)$$

$$Area_1 = 36.41\ m^2$$

كذلك بطريقة مشابهة ، مساحة المقطع العرضي الثاني i + 1 تساوي :

$$Area_{i+1} = \frac{5}{2}(2.01 + 1.73) + \frac{1.25}{2}(11.50 + 11.90)$$

$$Area_{i+1} = 23.98m^2$$

وعليه فإن حجم المادة المحصورة بين المقطعين تساوي :

$$Volume = \frac{D}{2}(A_i + A_{i+1}) = \frac{30}{2}(36.41 + 23.98) = 905.85m^3$$

ب . بطريقة قانون الموشور :

حيث أنه لدينا مقطعين عرضيين فقط ، لذا نقوم بتصور مقطع عرضي ثالث m يقع في منتصف المسافة بين المقطعين 1 + i و i ونعطيه أبعاداً (مسافات ومناسيب) تساوي

الوسطي الحسابي لأبعاد المقطعين i + 1 و i ثم نحسب مساحته على أســاس هـذه الأبعـاد . لاحظ أنه لا يجوز حساب مساحة المقطع الأوسط هذا بأخذ الوسط الحسابي لمساحتي المقطعين i + 1 و i وإذا تم ذلك فلن يكون هنـاك فـرق بيـن النتيجـة التـي تعطيهـا طريقـة المقطـع الوسطي والنتيجة التي تعطيها طريقة قـانون الموشـور . كذلـك لاحـظ أن المسـافة D بيـن كـل مقطع والذي يليه تصبح الآن مساوية 15m وليس 30m . لنكتب الآن من جديد أبعـاد المقطعين i + 1 و i والأبعاد المشتقة للمقطع الوسطي m .

Cross-Section No	Left يسـار	Center وسـط	Righ يمين
i	$\frac{C2.81}{12.9}$	$\frac{C1.89}{0.00}$	$\frac{C2.19}{12.4}$
m	$\frac{C\,(2.81 + 2.01)/2}{(12.9 + 11.5)/2}$	$\frac{C\,(1.89 + 1.25)/2}{0.00}$	$\frac{C:(2.19 + 1.73)/2}{(12.4 + 11.9)/2}$
i + 1	$\frac{C2.01}{11.5}$	$\frac{C1.25}{0.00}$	$\frac{C1.73}{11.9}$

أي أن المعلومات الخاصة بالمقطع m تصبح :

$$\frac{C2.41}{12.2} \qquad \frac{C1.57}{0.00} \qquad \frac{C1.96}{12.15}$$

ومساحته تساوي :

$$Area_m = \frac{5}{2}(2.41 + 1.96) + \frac{1.57}{2}(12.2 + 12.15) = 30.04m^2$$

وعليه يكون الحجم مساويا :

$$Volume = \frac{D}{3}(A_i + 4A_m + A_{i+1})$$

$$Volume = \frac{15}{3}[36.41 + 4(30.04) + 23.98] = 902.75m^2$$

لاحظ أن الحجم المحسوب بطريقة قانون الموشور أقل من الحجم المحسوب بطريقة المقطع العرضي الوسطي واقرب إلى الحجم الحقيقي .

كتحقيق للحسابات نقول بأن الحجم بطريقة المقطع الوسطي وبأخذ المقاطع الثلاثة بعين الإعتبار يساوي :

$$\text{Area} = \frac{D}{2} \left(A_i + 2A_m + A_{i+1} \right)$$

$$\text{Area} = \frac{15}{2} \left(36.41 + 2 (30.04) + 23.98 \right) = 903.53 m^3$$

لاحظ ان المسافة بين المقطع والآخر أصبحت تساوي بعد إدخال المقطع الأوسط 15m . أما مقدار التصحيح (Prismoidal Correction) فيساوي :

$$\text{Prismoidal Correction} = \frac{D}{6} \left(A_i + A_{i+1} - 2A_m \right)$$

$$\text{Prismoidal Correction} = \frac{15}{6} \left(36.41 + 23.98 - 2 (30.04) \right)$$

$$\text{Prismoidal Correction} = 0.78 m^3$$

وبالفعل :

$$903.53 - 0.78 = 902.75 \, m^3$$

وهي القيمة التي نتجت بتطبيق طريقة قانون الموشور ، أي أن الحسابات صحيحة .

ملاحظات عامة حول طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور في حساب الحجوم [م17] [م24] [م31] [م37] [م55]

1- تعتبر طريقة المقطع الوسطي من أكثر طرق حساب حجوم الكميات الترابية شيوعاً بالنظر لسهولة تطبيقها ولكون الحجم المحسوب أكبر قليلاً من الحقيقة وبالتالي فإن الخطأ يكون لصالح المتعهد (في أغلب الأحيان) .

2- إن طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور تقريبيتان وتزداد دقتهما كلما قل الفرق بين مساحة مقطع عرضي والذي يليه حتى إذا تساوت مساحتا مقطعين متتاليين وكان ميل سطح الأرض بينهما منتظماً كان الحجم المحسوب للمادة المحصورة بين هذين المقطعين صحيحاً تماماً. كذلك تزداد الدقة كلما صغرت المسافة بين المقاطع العرضية المتتالية خصوصاً في الأراضي الوعرة.

3- يجب الربط بين دقة طريقة المقطع الوسطي ودقة قياس مناسيب المقاطع العرضية الداخلة في الحساب . كذلك يجب أخذ تكاليف الأعمال الترابية بعين الإعتبار عند قبول أو رفض هذه الطريقة.

4- في معظم الحالات ، وبشكل عام يكون الحجم المحسوب بتطبيق طريقة المقطع الوسطي أكبر من الحجم الحقيقي أو أكبر من الحجم المحسوب بتطبيق طريقة قانون الموشور . لاحظ مثلاً أن حجم الهرم يساوي بتطبيق طريقة المقطع الوسطي حاصل ضرب نصف مساحة قاعدته في إرتفاعه بينما يساوي بتطبيق طريقة قانون الموشور حاصل ضرب ثلث مساحة قاعدته في إرتفاعه (هذا هو الصحيح) .

5- تكثر المقاطع العرضية المختلطة (Sidehill Sections) في حالات الطرق التي تجتاز سفوح الجبال حيث ينتقل المقطع الواحد من حفر إلى ردم أو بالعكس ولا بد في هذه الحالات من حساب الحجوم بشكل خاص كما مر معنا سابقاً .

6- يجب تجنب إستخدام طريقة المقطع الوسطي في حساب حجوم الأجزاء التي تأخذ شكل المجسمات الهرمية (Pyramidal Solids) أو أشكال المجسمات الإسفينية (Wedge-Shaped Solids) واللجوء إلى طريقة قانون الموشور في مثل تلك الحالات.

7- يمكن تطبيق طريقة قانون الموشور بدقة وفعالية في حساب حجوم جميع المجسمات الهندسية التي تأخذ أشكالاً شبه موشورية ذات أطراف مثلثية (Triangular End Section) وجوانب سطوحها ملتوية (Warped Surface) وهذا ينطبق إلى حد كبير على الأعمال الترابية والطرق والسكك والسدود وأقنية الري ....الخ .

8- ينصح بعدم إستعمال طريقة المقطع الوسطي والتقيد بتطبيق طريقة قانون الموشور في الحالات التالية :

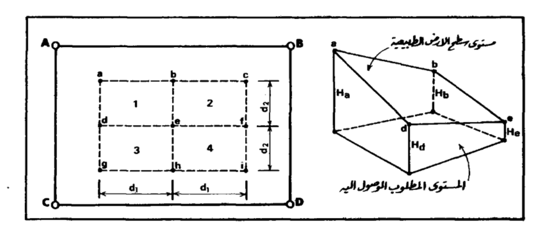
أ . عند الحاجة إلى دقة عالية في حساب الحجوم .
ب. عند وجود إختلاف ملحوظ بين مساحة مقطع عرضي والذي يليه لوعورة وعدم إنتظام سطح الأرض الطبيعية .
جـ. عند حساب حجوم الكميات الخرسانية والحفريات الصخرية .
د . عندما تكون المقاطع العرضية على مسافات قريبة جداً من بعضها .

9- عند الحاجة إلى دقة عالية في حساب الحجوم ، يمكن إستخدام طريقة المقطع الوسطي مع إجراء التصحيح الموشوري (Prismoidal Correction) بدلاً من التطبيق المباشر لطريقة قانون الموشور إذا رؤي في ذلك سهولة أكثر .

10-2-2- حساب الحجوم من مناسيب النقاط :

في حالات المساحات الصغيرة المناسبة لإقامة بعض الأبنية والمنشآت العمرانية المتفرقة ، يمكن حساب كميات الحفر والردم بقياس مناسيب مجموعة من النقاط هي عبارة عن زوايا (أركان) لمربعات أو مستطيلات صغيرة تغطي الجزء المطلوب من سطح الأرض . بمعرفة مناسيب هذه النقاط بالنسبة لمستوى مرجعي معين (Reference Datum) ومعرفة المنسوب المطلوب الوصول إليه ، يمكن حساب عمق الحفر أو الردم اللازم عند كل من هذه النقاط .

ليكن لدينا على سبيل المثال ، قطعة الأرض ABCD ومجموعة النقاط a , b , c , d , e , f , g , h , i المقيسة الإرتفاع بالنسبة لمستوى مرجعي معين ، شكل (14-10)، بإفتراض أن المنسوب المراد الوصول إليه معلوم فيمكن تعيين عمق الحفر أو الردم اللازم عند كل من هذه النقاط . دعنا نفترض أيضاً أن هذه النقاط مقيسة المناسيب (بواسطة جهاز التسوية Level على سبيل المثال) موزعة على شكل زوايا لمستطيلات صغيرة ذات أبعاد محددة d2 و d1 وأن عمق الحفر عند كل منها هو Ha , Hb , Hc , Hd , He , Hf , Hg , Hh , Hi على الترتيب. لنأخذ الآن الجزء المستطيلي الصغير abde ولنحسب حجم الحفر المطلوب إنجازه ضمن حدوده .



شكل -10-14- طريقة مناسيب النقاط في حساب الحجوم [م55]

من الواضح أن مساحة هذا المستطيل تساوي $d_2 \times d_1$، أما معدل عمق (Average Depth) الحفر المطلوب للمستطيل ذاته فيمكن إعتباره مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر المطلوبة عند زواياه الأربع ، أي :

$$(\text{Average Depth})_{abde} = \frac{H_a + H_b + H_d + H_e}{4}$$

وبالتالي يكون حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الأول abde مساوياً :

Volume = Plan Area × Average Depth

$$Volume_1 = d_1.d_2 \left(\frac{H_a + H_b + H_d + H_e}{4} \right)$$

بطريقة مشابهة يكون حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الثاني bcef مساوياً :

$$Volume_2 = d_1.d_2 \left(\frac{H_b + H_c + H_e + H_f}{4} \right)$$

وحجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الثالث degh مساوياً :

$$Volume_3 = d_1.d_2 \left(\frac{H_d + H_e + H_g + H_h}{4} \right)$$

وأخيراً حجم الحفر اللازم ضمن المستطيل الرابع efhi مساوياً :

$$Volume_4 = d_1.d_2 \left(\frac{H_e + H_f + H_h + H_i}{4} \right)$$

أما حجم الحفر الكلي المطلوب على كامل مساحة المستطيل الكبير acgi فيساوي مجموع هذه الحجوم الجزئية أي :

$$Volume_{total\ 1} = Volume_1 + Volume_2 + Volume_3 + Volume_4$$

$$Volume_{total\ 1} = \frac{d_1 . d_2}{4} [(H_a + H_b + H_d + H_e) + (H_b + H_c + H_e + H_f) + (H_d + H_e + H_g + H_h) + (H_e + H_f + H_h + H_i)]$$

$$Volume_{total\ 1} = \frac{d_1 . d_2}{4} [1 (H_a + H_c + H_g + H_i) + 2 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 4 (H_e)]$$

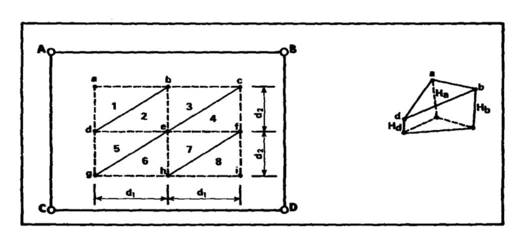
لاحظ أن نقاط أركان المستطيلات الصغيرة لا تساهم بنفس المقدار في حساب الحجم الكلي فبعضها لا تظهر مناسيبها في المعادلة إلا مرة واحدة وبعضها الآخر تتكرر مناسيبها مرتين أو أربع مرات .

ملحوظـــــــات :

1- بملاحظة شبكة المستطيلات الصغيرة يمكن بسهولة معرفة عدد المستطيلات التي تشارك فيها كل نقطة وبالتالي عدد المرات التي يتكرر منسوب كل نقطة في معادلة حساب الحجم.

2- في حالة قطع الأراضي الكبيرة ، تصبح معادلة حساب الحجم كبيرة نسبياً ومع ذلك تبقى بسيطة وسهلة التشكيل .

3- بدلاً من تقسيم المستطيل الكبير acgi إلى المستطيلات الجزئية الأربعة ، efhi ، degh ، bcef و abde ، يمكن أيضاً تقسيمه إلى ثمانية مثلثات ، شكل (10-15)، هي cef و bce و bde و abd و fhi و efh و egh و edg ويحسب حجم الحفر المطلوب لكل مثلث ثم تجمع مع بعض.



شكل -10-15- [م55]

بشكل شبيه لما ذكرنا أعلاه ، يمكن إعتبار معدل عمق الحفر المطلوب لكل مثلث مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر المطلوبة عند زواياه الثلاث . فمثلاً معدل عمق الحفر المطلوب للمثلث الأول abd يساوي :

$$(\text{Average Depth})_{abd} = \frac{H_a + H_b + H_d}{3}$$

أما حجم الحفر المطلوب إنجازه ضمن هذا المثلث الأول abd فيساوي :

$$\text{Volume} = \text{Plan Area} \times \text{Average Depth}$$

$$\text{Volume}_1 = \left(\frac{d_1 \times d_2}{2}\right)\left(\frac{H_a + H_b + H_d}{3}\right) = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_a + H_b + H_d)$$

وبطريقة مشابهة يكون حجم الحفر لكل من المثلثات السبعة المتبقية مساوياً :

$$\text{Volume}_2 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_b + H_d + H_e)$$

$$\text{Volume}_3 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_b + H_c + H_e)$$

$$\text{Volume}_4 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_c + H_e + H_f)$$

$$\text{Volume}_5 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_d + H_e + H_g)$$

$$\text{Volume}_6 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_e + H_g + H_h)$$

$$\text{Volume}_7 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_e + H_f + H_h)$$

$$\text{Volume}_8 = \frac{d_1 \times d_2}{6}(H_f + H_h + H_i)$$

4- البعض يطلق على هذه الطريقة بـ " طريقة حفرة الإمداد " (Borrow-Pit Method) والبعض الآخر يطلق عليها بـ " طريقة وحدة المساحة " (Unit-Area Method).

5- تصلح هذه الطريقة بشكل خاص في حساب كميات الأتربة (Earth) والحصمة أو البحص (Gravel) والصخور الموجودة في مناطق محددة ويراد إزالتها أو نقلها إلى مواقع طرق أو مطارات أو سدود أو أبنية تحت الإنشاء وذلك لغايات الردم أو التعبيد وما إلى ذلك .

أما حجم الحفر الكلي المطلوب على كامل مساحة المستطيل الكبير acgi فيساوي مجموع هذه الحجوم الجزئية ، أي :

$$Volume_{total\ 1} = \frac{d_1 + d_2}{6} [\, 1 (H_a + H_i) + 2 (H_c + H_g) + 3 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 6 (H_e) \,]$$

لاحظ هنا أنه وإن كانت العمليات الحسابية ، بإتباع طريقة المثلثات ، أطول من طريقة المستطيلات إلا أنها أدق بعض الشيء خصوصاً إذا طبقت في حالات الأراضي الوعرة (Rough Terrain) .

مثال رقم 10-5-

إذا كانت زوايا المستطيلات الصغيرة في الشكل (10-15)، كما يلي :

رقم النقطة Point No.	إرتفاع النقطة فوق المستوى المرجعي Height above Datum (m)
a	106.68
b	107.17
c	106.97
d	107.06
e	107.50
f	107.76
g	107.96
h	108.01
i	108.68

فكم يكون حجم الحفريات اللازم للوصول إلى منسوب ثابت مقداره 104.00m على كامل مساحة المستطيل الكبير acgi ، إذا علمت أن أبعاد المستطيلات الجزئية الصغيرة متساوية وتساوي 20m × 25 ؟

الحـــــل :

دعنا أولاً نحسب عمق الحفر اللازم عند كل من زوايا المستطيلات الصغيرة وذلك بطرح قيمة المنسوب المطلوب (104.00) من منسوب كل من هذه الزوايا ، أي :

رقم النقطة Point No.	منسوب النقطة Height above Datum (m) 1	المنسوب المطلوب Formation Level (m) 2	عمق الحفر المطلوب Depth of Cut (m) 1 - 2
a	106.68	104.00	2.68
b	107.17	104.00	3.17
c	106.97	104.00	2.97
d	107.06	104.00	3.06
e	107.50	104.00	3.50
f	107.76	104.00	3.76
g	107.96	104.00	3.96
h	108.01	104.00	4.01
i	108.08	104.00	4.08

إذا أخذنا المستطيلات الصغيرة كوحدة لحساب الحجم الكلي النهائي فيكون :

$$\text{Volume}_{\text{total 1}} = \frac{d_1 \times d_2}{4} [1 (H_a + H_c + H_g + H_i) + 2 (H_b + H_d + H_f + H_h) + 4 (H_e)]$$

$$\text{Volume}_{\text{total 1}} = \frac{25 \times 20}{4} [1 (2.68 + 2.97 + 3.96 + 4.08) + 2 (3.17 + 3.06 + 3.76 + 4.01) + 4 (3.50) = 6961.25 m^3$$

وإذا أخذنا المثلثات ، شكل (10-15) ، كوحدة لحساب الحجم الكلي النهائي فيكون :

$$Volume_{total\ 1} = \frac{d_1 \times d_2}{6} [1 (H_a + H_i) + 2 (H_c + H_g) + 3 (H_b + H_d + H_d + H_f + H_h) + 6 (H_e)$$

$$Volume_{total\ 1} = \frac{25 \times 20}{6} [1 (2.68 + 4.08) + 2 (2.97 + 3.96) + 3 (3.17 + 3.06 + 3.76 + 4.01) + 6 (3.50)] = 6968.33 m^3$$

مثال رقم 10-6-

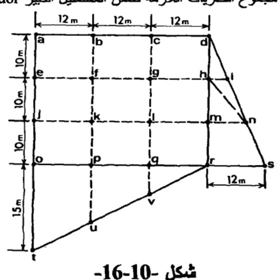
لحساب حجم الحفريات الصخرية المنجزة في مقلع حجري ، قيست مناسيب شبكة من النقاط قبل وبعد إجراء عملية الحفر . الشكل (10-16) يبين تباعدات نقاط الشبكة والجدول التالي يبين المناسيب المقيسة وعمق الحفر في كل نقطة . المطلوب حساب حجم هذه الحفريات إذا علمت أن المضلع adsrta يغطي سطح المقلع الحجري بكامله.

رقم النقطة Point No.	المنسوب قبل الحفر Elevation Before Excavation (m) 1	المنسوب بعد الحفر Elevation After Excavation (m) 2	عمق الحفر Depth of Cut (m) 1 - 2
a	102.75	91.66	11.09
b	102.51	91.60	10.91
c	102.56	91.59	10.97
d	102.71	91.63	11.08
e	102.12	91.70	10.42
f	102.01	91.64	10.37
g	102.10	91.65	10.45
h	101.93	91.76	10.17
i	101.83	91.76	10.07
j	101.70	91.85	9.85
k	101.70	91.79	9.84
l	101.58	91.72	9.86
m	101.51	91.66	9.85
n	101.43	91.62	9.81
o	101.27	91.71	9.56
p	101.19	91.76	9.43

q	101.08	91.85	9.23
r	100.93	91.89	9.04
s	100.86	91.95	8.91
t	100.69	92.03	8.66
u	100.54	92.15	8.39
v	100.21	92.24	7.97

الحـــــل :

لنحسب أولاً حجم الحفريات ضمن المستطيل الكبير ador وهنا يتضح أنه مؤلف من تسعة مستطيلات صغيرة أبعاد كل واحد منها 12 × 10m لنحسب حجم الحفريات ضمن كل مستطيل صغير ونجمعها لبعض مع ملاحظة أن النقاط r و o و d و a تشارك كل منها في مستطيل واحد فقط بينما النقاط j و h و e و c و b و q و p و m يشارك كل منها في مستطيلين متجاورين ، أما النقاط i و k و g و f فتشارك كل منهما في أربعة مستطيلات متجاورة وعليه يكون مجموع الحفريات اللازمة ضمن المستطيل الكبير ador مساوياً :



شكل -16-10-

$$Volume_{ador} = \frac{12 \times 10}{4} [1 (H_a + H_d + H_o + H_r) + 2 (H_b + H_c + H_e + H_h + H_g + H_m + H_p + H_q) + 4 (H_f + H_g + H_k + H_l)]$$

$$Volume_{ador} = \frac{12 \times 10}{4} [1 (11.09 + 11.08 + 9.56 + 9.04) + 2 (10.91 + 10.97 + 10.42 + 10.17 + 9.85 + 9.85 + 9.43 + 9.23) + 4 (10.37 + 10.45 + 9.84 + 9.86)]$$

$$Volume_{ador} = 10935.3 m^3$$

لحساب حجم الحفر ضمن المثلث الكبير drs ، نلاحظ أنه مكون من مثلث صغير dhi ومن شبهي منحرفين mnrs و himn لذلك نحسب الحجم المحصور ضمن كل من هذه الأشكال الجزئية ونجمعها لبعض ، أي :

$$Volume_{drs} = \frac{10 \times 4}{2 \times 3} (H_d + H_h + H_i) + \frac{10 (4+8)}{2 \times 4} (H_h + H_i + H_m + H_n) + \frac{10 (8+ 2)}{2 \times 4} (H_m + H_n + H_r + H_s)$$

لاحظ أن مساحة المثلث dhi تساوي $\frac{10 \times 4}{2}$ وأن مساحة شبه المنحرف himn تساوي $(\frac{4 + 8}{2})$ ومساحة شبه المنحرف mnrs تساوي $(\frac{8 + 12}{2})$ 10 وأن معدل عمق الحفر لكل شبه منحرف أخذ مساوياً للمتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع .

$$Volume_{drs} = \frac{10 \times 4}{2 \times 3} (11.08 + 10.17 + 10.07) + 10 \frac{4 + 8}{2 \times 4} (10.17 + 10.07 + 9.58 + 9.81) + \frac{10 (8+12)}{2 \times 4} (9.85 + 9.81 + 9.04 + 8.91) = 1747.55 m^3$$

لحساب حجم الحفر ضمن المثلث الكبير ort ، نلاحظ أنه مكـون مـن مثلـث صـغير qrv ومـن شـبهي منحرفيـن همـا optu و pquv . لذلـك نحسـب الحجـم المحصـور ضمـن كـل مـن هـذه الأشكال الجزئية ونجمعها لبعض ، أي :

$$Volume_{ort} = \frac{5 \times 12}{2 \times 3}(H_q + H_r + H_v) + \frac{12(5+10)}{2 \times 4}(H_p + H_q + H_u + H_v)$$
$$+ \frac{12(10+15)}{2 \times 4}(H_o + H_p + H_t + H_u)$$

لاحظ أن مساحة المثلث qrv تساوي $\frac{5 \times 12}{2}$ ومساحة شبه المنحرف pquv تساوي $\frac{12(5+10)}{2}$ ومساحة شبه المنحرف optu $\frac{12(10+15)}{2}$ وأن معدل عمق الحفر لكل شبه منحرف يساوي المتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع.

$$Volume_{ort} = \frac{5 \times 12}{2 \times 3}(9.23 + 9.04 + 7.97) + \frac{12(5+10)}{2 \times 4}(9.43 + 9.23 + 8.39 + 7.97) + \frac{12(10+15)}{2 \times 4}(9.56 + 9.43 + 8.66 + 8.39)$$

$$Volume_{ort} = 2401.85 m^3$$

وبهذا يكون حجم الحفر الكلي مساوياً :

$$Volume_{total} = Volume_{ador} + Volume_{drs} + Volume_{ort}$$

$$Volume_{total} = 10935.3 + 1747.55 + 2401.85 = 15084.7 m^3$$

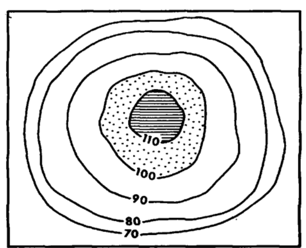
ملحوظة :

يلاحظ في الحل أننا حسبنا معدل الحفر ضمن كل شبه منحرف على أساس المتوسط الحسابي لأعماق الحفر عند زواياه الأربع ويجب التنويه هنا بأن هذا العمل مقبول فقط عندما يكون سطح الأرض قليل الوعورة (ذو ميل شبه منتظم) أما إذا كانت الأرض وعرة فيفضل ، زيادة في الدقة ، تقسيم شبه المنحرف إلى مثلثين وحساب حجم الحفر ضمن كل مثلث وجمع

الحجمين (على سبيل المثال ، بـدلاً مـن حساب الحجم ضمن شبه المنحرف himn كوحدة واحدة يمكن تقسيمه إلى المثلثين ثم جمعهم لبعض) . عادة ، يقوم المساح في الميدان برسم القطر hn إذا ما رأى ضرورة لتقسيم شبه المنحرف إلى مثلثين عند حساب الحجم بالنظر لمعرفته الأكيدة بطبيعة الأرض في موقع القياس.

3-2-10 حساب الحجوم من خطوط الكنتور (Volumes from Contours)

هذه الطريقة مناسبة عند توفر المخططات أو الخرائط الكنتورية حيث يجري تطبيق طريقة المقطع الوسطي أو طريقة قانون الموشور في حساب الحجم وذلك بإستبدال المساحات المحصورة ضمن حدود خطوط الكنتور المتتالية بمساحات المقاطع العرضية المتتالية في تلك الطريقتين وإستبدال الفترة الكنتورية بالمسافة بين كل مقطعين عرضيين متتالين . بخصوص الفترة الكنتورية فهي عبارة عن الفرق بين منسوبي أي خطين كنتوريين متتاليين على المخطط أوالخريطة المستخدمة لهذا الغرض ، أما المساحة المحصورة ضمن حدود كل خط كنتور فتقاس بواسطة جهاز البلانيميتر (الجهاز المناسب لمثل هذه الحالات) . لتكن لدينا على سبيل المثال مجموعة خطوط الكنتور التالية والتي تمثل تلة ، شكل (10-17) ، إن المساحة المحصورة ضمن حدود خط الكنتور 110 يمثلها الجزء المهشر (Hatched) في الشكل (10-17 ، والمساحة المحصورة ضمن حدود خط الكنتور 100 عبارة عن مجموع الجزئين المهشر والمنقط (أي أن المساحة الخاصة بخط الكنتور 100 تشمل المساحة بخط الكنتور 110 وكذا المساحة التي تخص خط الكنتور 90 تشمل المساحة الخاصة بخط الكنتور 100 وهكذا) .



شكل -10-17- تلة تمثلها مجموعة من خطوط الكنتور [م55]

أما الفترة الكنتورية فهي كما هو واضح من الشكل تساوي 10m . الآن بإفترا ض أن مساحة المنطقة ضمن حدود خط الكنتور 110 تساوي A110 ومساحة المنطقة ضمن حدود خط الكنتور 90 تساوي A90 ومساحة المنطقة ضمن حدود خط الكنتور 80 تساوي A80 ومساحة منطقة ضمن حدود خط الكنتور 70 تساوي A70 وأريد قطع أو تسوية التلة حتى المنسوب 70m فيكون حجم الحفر اللازم لذلك بتطبيق طريق المقطع الوسطي مساوياً :

$$Volume = 10\left(\frac{A_{110} + A_{100}}{2}\right) + 10\left(\frac{A_{100} + A_{90}}{2}\right) + 10\left(\frac{A_{90} + A_{80}}{2}\right) + 10\left(\frac{A_{80} + A_{70}}{2}\right)$$

$$Volume = \frac{10}{2}\left[A_{110} + A_{70} + 2\left(A_{100} + A_{90} + A_{80}\right)\right]$$

ويكون الحجم بتطبيق طريقة قانون الموشور مساوياً :

$$Volume = \frac{10}{3}\left[A_{110} + A_{70} + 4\left(A_{100} + A_{80}\right) + 2\left(A_{90}\right)\right]$$

حيث الرقم 10 يمثل الفترة الكنتورية .

ملحوظـــــة :

يندر تطبيق طريقة قانون الموشور في حساب الحجوم من خطوط الكنتور بل يقتصر على طريقة المقطع الوسطي حيث تنسجم دقتها مع دقة الخطوط الكنتورية .

مثال رقم 10-7-

في الشكل (10-17) ، قيست المساحة المحصورة ضمن حدود كل خط كنتور بواسطة جهاز البلانيميتر وكانت كما يلي : $A_{110} = 10100\ m^2$ و $A_{100} = 24721\ m^2$ و $A_{90} = 66384\ m^2$ و $A_{80} = 91206\ m^2$ و $A_{70} = 116375\ m^2$.

فإذا أريد تسوية التلة (حفرها) للوصول إلى المنسوب 70m فكم يكون حجم الحفر اللازم علماً بأن الفترة الكنتورية تساوي 10m ؟

ملحوظـــــة :

إحسب الحجم بطريقتي المقطع المتوسط وقانون الموشور .

الحـــــل :

أ . بطريقة المقطع الوسطي

$$Volume = \frac{10}{2} [A_{110} + A_{70} + 2 (A_{100} + A_{90} + A_{80})]$$

$$Volume = \frac{10}{2} [10100 + 116375 + 2 (24721 + 66384 + 91206)]$$

$$= 2455485m^3$$

ب. بطريقة قانون الموشور

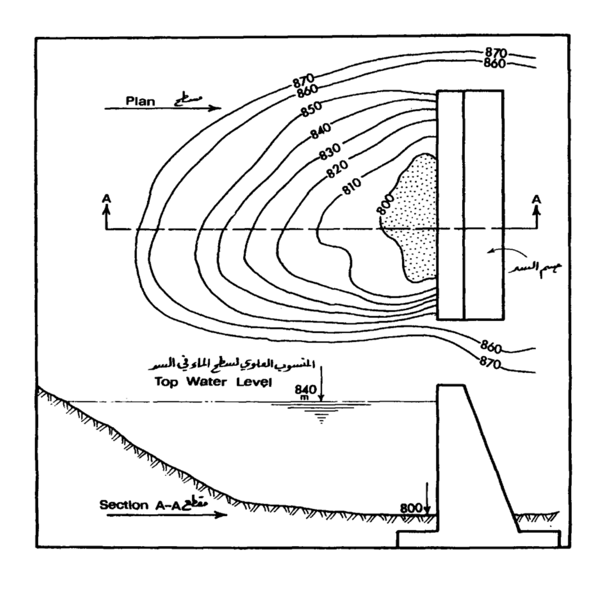
$$Volume = \frac{10}{2} [A_{110} + A_{70} + 4 (A_{100} + A_{80}) + 2 (A_{90})]$$

$$Volume = \frac{10}{2} [10100 + 116375 + 4 (24721 + 91206) + 2 (66394)]$$

$$Volume = 2409837m^3$$

مثال رقم 10-8-

في الشكل (10-18)، خطوط الكنتور تمثل طبيعة سطح الأرض لحوض مائي يقع مباشرة خلف جسم سد مقترح قيست المساحة المحصورة ضمن كل خط كنتور بواسطة بلانيميتر قطبي (الجزء المنقط في الشكل (10-18) على سبيل المثال ، يمثل المساحة التي تخص


870
860
Plan مسطح
850
840
830
820
810
800
A
A
جسم السد
860
870
المنسوب العلوي لسطح الماء في السد
Top Water Level
840
m
Section A-A مقطع
800

شكل 10-18- [م22]

خط الكنتور 800m وبالتالي نجعل إبرة التخطيط لجهاز البلانيميتر تمر على محيط هذا الجزء بكامله) فوجدت كما يلي :

رقم خط الكنتور المنسوب (m)	800	810	820	830	840	850
مقدار المساحة المقيسة (m^2)	20365	41375	117120	160340	211210	298140

المطلوب حساب حجم الماء المحجوز خلف جسم السد عندما يصل منسوب الماء إلى الحد الأعظمي المسموح وهو 840m وذلك بطريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور علماً بأن أرضية (قعر) الحوض المائي خلف جسم السد منبسطة ومنسوبها يساوي 800m تقريباً .

الحـــــل :

أ . الحل بطريقة المقطع الوسطي

بملاحظة خطوط الكنتور يتبين أن الفترة الكنتورية تساوي 10m ، وعليه فإن :

$$Volume = \frac{10}{2} [A_{800} + A_{840} + 2 (A_{810} + A_{820} + A_{830})]$$

حيث A_{800} ترمز إلى المساحة ضمن حدود خط الكنتور 800m
وهكذا . . . .

$$Voluem = \frac{10}{2} [20365 + 211210 + 2 (41375 + 117120 + 160340)]$$

$$Volume = 4346225 m^3$$

ب . بطريقة قانون الموشور :

$$Volume = \frac{10}{2} [A_{800} + A_{840} + 4 (A_{810} + A_{830}) + 2 (A_{820})]$$

$$Volume = 4242250 m^3$$

مسـائل

10 - 1 اذكر أهم الطرق الشائعة في حساب الحجوم وقارن بينها .

10 - 2 هل تفضل طريقة المقطع الوسطي في حساب الحجوم على طريقة قانون الموشور أم العكس ؟ ولماذا ؟

10 - 3 في أي الحالات تنصح باستخدام طريقة المقطع الوسطي وفي أي الحالات تنصح باستخدام طريقة قانون الموشور في حساب الحجوم ؟

10 - 4 متى يصبح الفرق بين استخدام طريقة المقطع الوسطى واستخدام طريقة قانون الموشور مهملاً ؟

10 - 5 أي العاملين التاليين أكثر تأثيراً في تحقيق الدقة في حساب الحجوم :

أ – طريقة رياضية أكثر دقة في حساب الحجوم .

ب – تقريب المسافات بين المقاطع العرضية .

10 - 6 ما هي العوامل التي تؤثر في تحقيق الدقة في حساب الحجوم ؟ وما أكثر العوامل هذه تأثيراً ؟

10 - 7 لديك ثلاثة مقاطع عرضية متتالية من طريق ، المقطع الأول كله ردم ومساحته ($15.81m^2$) ، المقطع العرضي الثاني مختلط مساحة الردم فيه ($7.23m^2$) ومساحة الحفر فيه ($5.46m^2$) والمقطع العرضي الثالث حفر ومساحته ($12.34m^2$) . المطلوب حساب كميات الحفر والردم التراكمية بين المقطعين الأول والثالث علماً بأن التباعد بين كل مقطعين عرضيين متتاليين يساوي (25m).

10 - 8 لديك الجدول التالي الذي يبين مساحات وتباعدات خمسة مقاطع عرضية متتالية من طريق، المطلوب حساب كمية الحفر اللازمة بين المقطع العرضي

الأول والمقطع العرضي الخامس باستخدام طريقتي المقطع الوسطي وقانون الموشور.

رقم المقطع	1	2	3	4	5
المحطة (m)	00.00	20	40	60	75
مساحة الحفر(m^2)	7.25	6.13	8.22	7.35	9.85

10 - 9 نفس معطيات المسألة رقم (10-8) ولكن المطلوب هنا تطبيق طريقة قانون الموشور وبيان الفرق بين النتيجتين والتعليق على ذلك .

10-10 في أي الأوضاع الطبوغرافية تكثر المقاطع العرضية المختلطة وماذا يترتب على ذلك عند حساب الحجوم في مثل هذه الأجزاء أو المواقع من الطريق .

11-10 في أي الحالات ينصح بإتباع طريقة مناسيب النقاط في حساب الحجوم ؟

12-10 عند حساب الحجوم بإتباع طريقة مناسيب النقاط ، هل تفضل تقسيم الموقع إلى مثلثات أم إلى مستطيلات ؟ لماذا ؟ ومتى يصبح الفرق مهملاً ومتى يصبح هذا الفرق معتبراً ؟

13-10 الجدول التالي يبين المساحة المحصورة ضمن حدود مجموعة من خطوط كنتورية متتالية ، المطلوب حساب حجم الحفر اللازم للوصول إلى المنسوب (200m) .

منسوب خط الكنتور (m)	المساحة ضمن حدود خط الكنتور (m^2)
220	11070
215	30200
210	41150
205	53120
200	63270

14-10 في المثال رقم (10-8) ، كما يصبح حجم الماء خلف السد عندما يعلو سطح الماء بمقدار (1m) عن الحد الأعظمي المسموح به ؟ استخدم طريقة المقطع الوسطي في الحل .



-11-

الفصل الحادي عشر

-المنحنيات الأفقية-

HORIZONTAL CURVES

11 – المنحنيات الأفقية Horizontal Curves [م52]

11 - 1 – مقدّمة :

شرحنا في الفصل الثالث (انظر بشكل خاص الفقرات من 3 - 4 - 1 إلى نهاية 3 - 4 - 5) طرق اختيار وتجسيد نقاط تقاطع أزواج الخطوط المستقيمة المتتالية المشكلة لمسار طريق مقترح معين. كذلك أوضحنا أنه يتبع ذلك قياس زوايا التقاطع (فقرة 3-4- 2).
إن ربط هذه الأزواج المتقاطعة من الخطوط المستقيمة بمنحنيات أفقية تمكّن من الانعطاف، الآمن والمرن والمريح والاقتصادي ما أمكن ، من اتجاه لآخر هو موضوع هذا الفصل (انظر الشكلين 3 - 20 , 3 - 21) . إن اختيار العناصر التصميمية الأساسية (نصف القطر أو درجة المنحنى على سبيل المثال) لمنحنيات الربط أو الوصل الأفقية هي من صميم اختصاص مهندسي الطرق ذلك لأنها تتبع معايير تصميمية تدخل في صلب هندسة الطرق . أمّا مهمة مهندسي المساحة والمساحين في هذا المجال فهي في الحقيقة حيوية ورئيسة وتتلخص في الاستناد إلى هذه المعطيات التصميمية الأساسية لاشتقاق كافة المعلومات التي تلزم عملية التجسيد الميداني لمنحنيات الربط . من الطبيعي أن تتم عملية التجسيد هذه أيضاً على أيدي فرق المساحة المتخصصة .

سنستعرض في هذا الفصل أنواع المنحنيات الأفقية التي يمكن استخدامها في وصل الخطوط المستقيمة ، العناصر التصميمية والإشتقاقات وتهيئة المعلومات اللازمة لعملية النقل من الوضع التصميمي النظري إلى أرض الواقع (التجسيد على الطبيعة)، إضافة إلى بعض التطبيقات والقضايا الهامة ذات العلاقة .

11 - 2 أنواع المنحنيات :

سنشرح في هذا الفصل نوعين من المنحنيات التي يمكن استخدامها في وصل الخطوط المستقيمة المتقاطعة ، هي :

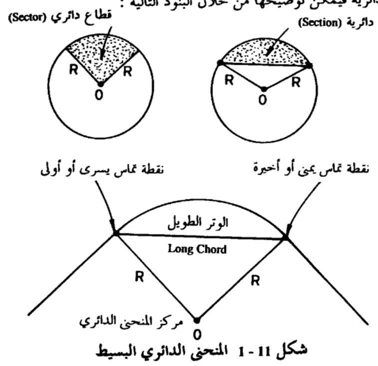
- المنحنيات الدائرية (Circular Curves) .
- المنحنيات المتدرجة أو الحلزونية (Easement or Spiral Curves) .

11 - 2 - 1 المنحنيات الدائرية :

11-2-1-1 المنحنى الدائري البسيط (Simple Circular Curve) :

هذا المنحنى عبارة عن جزء من دائرة ذات نصف قطر محدّد وثابت، شكل (11-1).

وفيما يتعلق بالحسابات والطرق الخاصة بتصميم وتجسيد (على الطبيعة) هذا النوع من المنحنيات الدائرية فيمكن توضيحها من خلال البنود التالية :



شكل 11 - 1 المنحنى الدائري البسيط

أ - عناصر المنحنى الدائري البسيط

بملاحظات الشكل (11-2) نبيّن العناصر الرئيسة التالية للمنحنى الدائري البسيط .

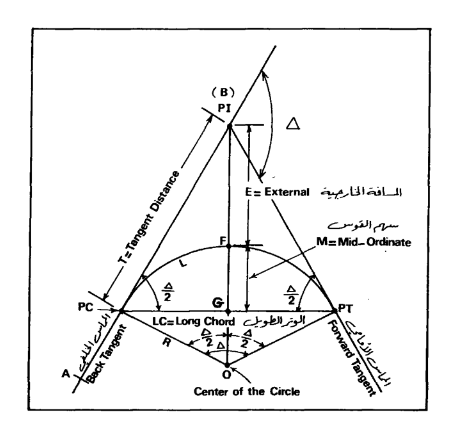
* نقطة تقاطع المماسين أو المستقيمين وتسمى الذروة أو رأس المنحنى (Vertex or Point of Intersection , PI) .

* زاوية الانحراف Deflection Angle ويرمز لها بـ Δ ويمكن البرهان بسهولة على أنها تساوي الزاوية المركزية المنشأ عليها المنحنى الدائري بكامله .

* المماسان The Two Tangents ويرمز لكل منهما بـ T وقد تم الاصطلاح على تسمية المماس على الجانب الأيسر لنقطة التقاطع (PI) بالمماس الخلفي Back Tangent

والمماس على الجانب الأيمن لنقطة التقاطع بالمماس الأمامي Forward Tangent وذلــك إذا كان تقدم العمل المساحي باتجاه اليمين والعكس صحيح .

* نقطة بداية المنحنى Point of Curvature ويرمز لها بـــ PC وتسمى أيضاً بنقطة التماس الأولى أو مدخل المنحنى وفي أحيان أخرى يرمز لها بـــ BC أي Beginning of Curve أو يرمز لها بـــ TC أي : Tangent - to - Curve Point .



شكل 11 - 2 العناصر الأساسية للمنحنى الدائري البسيط

* نقطة نهاية المنحنى Point of Tangency ويرمز لها بـ PT وتسمى أيضاً بنقطة التماس الثانية أو مخرج للمنحنى وفي أحيان أخرى يرمز لها بـ EC أي : End of Curve أو يرمز لها بـ CT أي : Curve-to-Tangent Point .

* الخط المستقيم الذي يصل بين نقطتي التماس ويطلق عليه الوتر الطويل Long Chord ويرمز له بـ LC .

* نصف القطر Radius ويرمز له بـ R .

* طول المنحنى Length of Curve ويرمز له بـ L .

• المسافة الخارجية External Distance ويرمز له بـ E وهي عبارة عن المسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة منتصف المنحنى الدائري مقيسة وفق الخط الواصل بين مركز المنحنى O ونقطة التقاطع PI (هذا الخط بالطبع ينصف الزاوية المركزية للمنحنى والمساوية لـ Δ).

* سهم القوس Middle Ordinate ويرمز له بـ M وهو يساوي المسافة بين نقطة منتصف المنحنى وبين نقطة منتصف الوتر الطويل (طول العمود النازل من منتصف المنحنى إلى الوتر الطويل).

* مركز المنحنى Curve Center وسنرمز له بـ O .

* الوتر الجزئي الأول First Partial Chord ويرمز له بـ C_1 ، الشكل (11- 3)، وهو طول الخط المستقيم الذي يصل نقطة التماس الأولى بأول نقطة على المنحنى ونذكر هنا أنه نادراً ما تكون محطة نقطة التماس الأولى مطابقة مع رقم مدّور ومناسب عملياً (المحطة هي مقدار المسافة الأفقية المقطوعة وفق خط منتصف الطريق Centerline ومن بدايته حتى النقطة ذات العلاقة ، فلو قلنا مثلاً أن محطة النقطة PC هي 1217m فيعني هذا أن المسافة الأفقية من بداية الطريق أو المشروع مقاسة وفق خط منتصف الطريق وحتى هذه النقطة تساوي 1217m) كأن تكون هذه المحطة قابلة للقسمة على 20 أو 25 وهي الأطوال الدارجة لأغلبية الأشرطة المستخدمة في قياس المسافات لذا فإنه يلجأ إلى إعطاء طول للوتر الجزئي الأول بحيث تصبح محطة النقطة الأولى من المنحنى رقماً مدوراً مناسباً (يقبل القسمة على 20 أو 25).

* الوتر الجزئي الأوسط Middle Partial Chord ويرمز له بـــ C وهو عبارة عن طول الخط المستقيم الذي يصل بين أي نقطتين متتاليتين من المنحنى ما عدا الأولى والأخيرة (نقصد بالنقطة الأولى من المنحنى تلك التي تلي مباشرة نقطة التماس الأولى ونعـــني بالنقطـــة الأخيرة تلك التي تسبق مباشرة نقطة التماس الثانية) وعادة يكون هذا الطـــول رقمـــاً مدوراً مناسباً وغالباً يكون 10 m or 20m or 25m بحيث تبقى محطات جميـــع النقـــاط الوسطى من المنحنى أرقاماً مدورة مناسبة ، الشكل (11 - 3) .

* الوتر الجزئي النهائي Last Partial Chord ويرمز له بـــ C_2 وهو عبارة عن طول الخـــط المستقيم الذي يصل نقطة التماس الثانية بالنقطة التي تسبقها مباشرة وبالطبع يكون هذا الطول بحيث يكمل على طول المنحنى الكلي المحسوب ، الشكل (11 -3) .

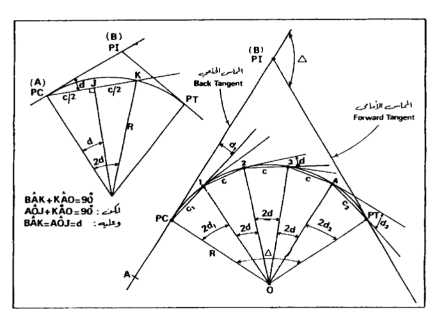
* زاويـــة الانحراف الجزئية الأولى ونرمز لها بـــ d1 وهي عبارة عـــن الزاويـــة الأفقيـــة المحصورة بين المماس الأول أو الخلفي وبين الوتر الجزئي الأول وهذه الزاويـــة بـــالطبع تساوي نصف الزاوية المركزية المنشأة على الوتر أو القوس الجزئي الأول،الشكل(11-3).

* زاوية الانحراف الجزئية الوسطى ونرمز لها بـــd وهي عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين أي وتر جزئي أوسط وبين مماس المنحنى الدائري في نقطة بداية هذا الوتر الجزئـــي الأوسط الشكل (11- 3) .

* زاوية الانحراف الجزئية النهائية ونرمز لها بـــ d_2 وهي عبارة عن الزاوية الأفقية المحصورة بين الوتـــر الجزئي النهائي وبين المماس للمنحنى الدائري في نقطة بداية هـــذا الوتـــر الجزئي النهائي (أي المماس للمنحنى في النقطة التي تســـبق مبـــاشرة نقطـــة التمـــاس الثانية)،الشكل (11-3) .

ملحوظة :

سنصطلح على إعطاء الأطوال الجزئية نفس رموز الأوتار الجزئية التي تقابلها كما أننـــا سنفترض تساوي القوس الجزئي مع الوتر الجزئي في حالة تقسيم للمنحنى الدائري الكلي إلى عدة أقواس جزئية بحيث لا يتجاوز طول القوس الجزئي الواحد (R/20) .

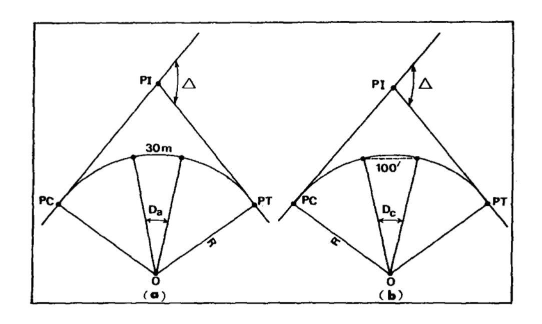


شكل 11 - 3 الأوتار وزوايا الانحراف الجزئية

ب – نصف القطر ودرجة الانحناء Radius and Degree of Curvature :

هناك اعتباران لتحديد أو تعريف المنحنى الدائري البسيط، الاعتبار الأول يقضي معرفة درجة الانحناء أو التقوس والاعتبار الثاني يقضي معرفة نصف قطر المنحنى .

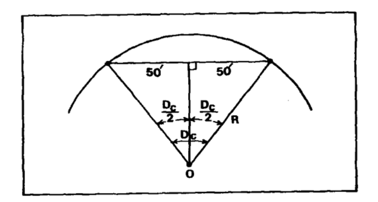
تعرف درجة الانحناء بمقدار الزاوية المركزية المقابلة أو المنشأة على وتر أو قوس ذي طول محدد أو مصطلح عليه ، الشكل (11 - 4) ، إن هذا الطول قد يختلف من بلد لآخر ففي معظم البلدان التي تطبق النظام البريطاني تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل وتر طوله 100 ft وفي مصر تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل وتر طوله 20 m وفي وزارة الأشغال العامة الأردنية تعرف درجة المنحنى بمقدار الزاوية المركزية التي تقابل قوساً طوله 30 m . فعلى سبيل المثال يكون المنحنى الدائري الذي درجته 3° حسب النظام البريطاني هو ذلك المنحنى الذي تكون فيه الزاوية المركزية المقابلة لوتر طوله 100 ft مساوية لـ 3° وحسب نظام وزارة الأشغال العامة الأردنية هو الذي تكون فيه الزاوية المركزية المقابلة لقوس طوله 30 m مساوية 3° .



شكل 11-4 تعريف درجة الانحناء

جـ – علاقة نصف القطر بدرجة المنحنى :

* في حالة التعريف الوتري لدرجة انحناء المنحنى (Chord Definition) ، يمكن كتابة العلاقات الرياضية التالية ، شكل (11 - 5) .



شكل 11 - 5 علاقة نصف القطر بدرجة الانحناء

$$\sin(D_c/2) = (50'/R)$$

$$R = 50/\sin(D_c/2) \quad \text{.......} (1-11)$$

وعليه يكون طول للنحنى L (بشكل تقريبي) :

$$L = 100'(\Delta/D_c) \quad \text{.......} (2-11)$$

أمّا إذا كان طول الوتر (وفق التعريف الوتري) مساوياً (30 m) بدلاً من (100')، عندها تصبح للعادلة (1 - 11) على الشكل :

$$R = 15/\sin(D_c/2) \quad \text{.......} (3-11)$$

* وفي حالة التعريف القوسي للدرجة انحناء للنحنى (Arc Definition) ، يمكن كتابة العلاقات الرياضية التالية (شكل 11 - 6) .

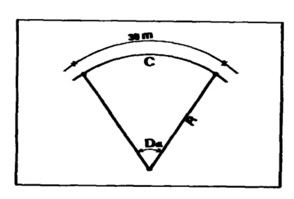
$$30\,m/2\pi R = D_a/360^\circ$$

وعليه ، يكون نصف القطر (R) مساوياً :

$$R = 1718.873/D_a \quad \text{.......} (4-11)$$

وطول للنحنى (L) مساوياً :

$$L = 30m\ (\Delta/D_a) \quad \text{.......} (5-11)$$



شكل 11 - 6

أمّا إذا كان طول القوس (وفق التعريف القوسي) مساوياً (100') بدلاً من (30m)، عندها تصبح للعادلة (11 - 4) على الشكل :

$$R = 5729.578/D_a \quad \text{.......} (6-11)$$

أمّا للعادلة (11 - 5) فتصبح على الشكل :

$$L = 100'(\Delta/D_a) \quad \text{.......} (7-11)$$

ملحوظات على التعريفين القوسي والوتري لدرجة انحناء المنحنى الدائري :

* يغلب استخدام التعريف القوسي في تطبيقات الطرق بينما يغلب استخدام التعريف الوتري في تطبيقات السكك الحديدية .
* تتصف المنحنيات الدائرية السهلة (Flat or Long Radius Curves) بدرجات انحناء صغيرة بينما يكون للمنحنيات الدائرية الحادة (Sharp or short Radius Curves) درجات انحناء كبيرة. في حالات الطرق السريعة الحديثة (Modern High- Speed Highways)، تكون درجة الانحناء عادة أقل من أربع درجات .
* يطلق على المنحنى الدائري ذي درجة الانحناء 1° منحنى درجة واحدة (one- Degree Curve) وعلى المنحنى الدائري ذي درجة الانحناء 2° منحنى درجتين (Two- Degree Curve) وهكذا .
* في مشاريع الطرق والسكك الحديدية يغلب تعريف المنحنيات الدائرية البسيطة بدلالة قيمة مدورة (Even Value) لدرجة المنحنى إما وفق التعريف القوسي (D_a) أو وفق التعريف الوتري (D_c) غير أنه في بعض التطبيقات ، الأخرى كشوارع المدن وخطوط الأنابيب، يجري عادة تعريف هذه المنحنيات باختيار بعض القيم المدورة لأنصاف الأقطار ويطلق عليها "Even - Radius Curve" .

د – معادلات المنحنيات الدائرية (Equations for Circular Curves)، [م33] [م52]

لنتذكر الحقائق التالية : (هندسة مستوية) :

* إذا رسم من نقطة مماسان لقوس دائري كان هذان المماسان متساويتين .
* المماس للمنحنى الدائري في نقطة ما يعامد نصف قطر هذا المنحنى المار بنقطة التماس. بالاعتماد على الحقائق السابقة وبالاستعانة ، بالشكل (11-2) يمكن البرهان على أن المثلثين (PI, PT, O) و (PI, PC, O) متطابقان لتساوي ثلاثة أضلاع وبالتالي فإن الضلع المشترك لهما PI, O بنصف زاوية الرأس المركز (O) ، أي أن الزاويتين (PC,O,G) و (PT,O,G) متساويتان وتساوي كل منهما $\Delta/2$. وبذلك يمكن البرهان أيضاً على أن المثلثين (G,PT,O) و (G, PC, O) متطابقان وذلك لتساوي ضلعين وزاوية وعليه فإن الضلع المشترك لهما GO بنصف الوتر PT و PC في النقطة G (أي أن: (PC, G = PT,G) ويعامده

في النقطة G (أي أن : $PT,G,O = PC,G,O = 90°$). وبالتالي فإنه بمعرفة نصف قطر المنحنى الدائري R المراد تصميمه وتحديد موقعه في الطبيعة (أن اختيار نصف القطر يعتمد على مزايا اقتصادية وفنية وطبوغرافية وبالتالي يترك هذا الأمر للمهندس أو بالأحرى للفريق المصمم) وبمعرفة زاوية انحراف للماسين Δ يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

1 - طول المماس (T) :

$$T = R \tan (\Delta/2) \quad \text{.................} (8 -11)$$

2 - المسافة الخارجية (E) :

$$E = (R/ \cos (\Delta/2)) - R$$
$$E = R (\sec (\Delta/2) - 1)$$
$$E = R \ \text{exsec} (\Delta/2) \quad \text{.................} (9 - 11)$$

3 - سهم القوس (M) :

$$M = R - R \cos (\Delta/2)$$
$$M = R (1 - \cos (\Delta/2))$$
$$M = R \ \text{vers} (\Delta / 2) \quad \text{.................} (10 -11)$$

4 - الوتر الطويل (LC) :

$$LC = 2R \sin (\Delta/2) \quad \text{.................} (11-11)$$

5 - طول المنحنى (L)

$$L / (2 \Pi R) \Delta / 360$$
$$L = \Pi R \ \Delta / 360 \quad \text{.................} (12-11)$$

6 - زوايا الانحراف وأطوال الأوتار والأقواس الجزئية :

بالنسبة لأطوال الأوتار الجزئية (C_1 , C, C_2) وقيم زوايا الانحراف الجزئية (d_1, d, d_2) فيمكن اشتقاقها على النحو التالي، الشكل (11 -3) :

*** قيم زوايا الانحراف الجزئية (C_o) :**

لحساب قيم زوايا الانحراف الجزئية لأي منحنى دائري، يمكننا كتابة العلاقة الرياضية التالية :

$$\frac{\text{طول القوس الجزئي الدائري}}{\text{طول محيط الدائرة المارة بهذا القوس}} = \frac{\text{الزاوية المركزية الخاصة بالقوس الجزئي}}{\text{الزاوية المركزية الكلية (أي 360°)}}$$

وحيث أن الزاوية المركزية الخاصة بقوس ما تساوي ضعف زاوية الانحراف الجزئية (الزاوية المماسة) لهذا القوس كما سبق أن أشرنا، فإننا نكتب المعادلة التالية أيضاً :

$$\frac{\text{طول القوس الجزئي}}{\text{طول محيط الدائرة}} = \frac{\text{(زاوية الانحراف الجزئية الخاصة بالقوس الجزئي)} \times 2}{\text{الزاوية المركزية الكلية (أي } 360^\circ)}$$

وعليه نكتب العلاقات التالية بالنسبة لمختلف الأقواس الجزئية .

(بملاحظة أننا سنرمز إلى الأقواس الجزئية بنفس رموز الأوتار الجزئية التي تقابلها)

$$C_1 / (2\pi R) = 2d_1 / 360^\circ$$
$$d_1 = 90\, C_1 / (\pi R)$$

حيث d_1 معطاة بالدرجات ، وبالنظر لكون زوايا الانحراف الجزئية عملياً صغـــيرة لـــنا يفضل اعطاؤها بالدقائق ، أي :

$$d_1 = \frac{60 \times 90\, c_1}{\pi R}$$

وعليه تكون زاوية الانحراف الجزئية الأولى بالدقائق :

$$d = 1718.873 \quad (\frac{c_1}{R})$$

وبنفس الأسلوب يمكن كتابة :

- قيمة كل زاوية من زوايا الانحراف الجزئية الوسطى بالدقائق :

$$d = 1718.873 \quad (\frac{c}{R})$$

- زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة بالدقائق :

$$d_2 = 1718.873 \quad (\frac{c_2}{R})$$

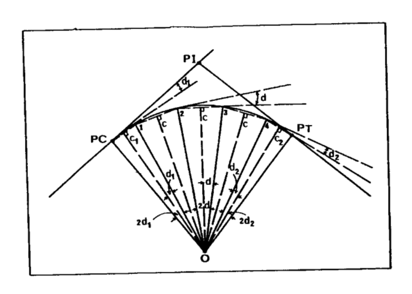
وتكتب عادة المعادلات الثلاث السابقة بشكل عام على النحو التالي :

$$d_\circ = 1718.873 \quad (\frac{c_\circ}{R}) \qquad (13-11)$$

حيث ترمز d_o إلى زاوية الانحراف بالدقائق ، C_o ترمز إلى طول القوس الدائري الجزئي ذي العلاقة ، وR ترمز بالطبع إلى نصف قطر المنحنى الدائري .

* أطوال الأوتار الجزئية (d_o) :

في الشكل (11- 7) إذا أنزلنا عموداً من مركز المنحنى (o) على وتر القوس الجزئي الأول (c_1) فإن هذا العمود سينصف الزاوية PC, O, I وينصف هذا الوتر أيضاً . فإذا عرفنا الزاوية المركزية لقوس أو وتر بأنها الزاوية التي يمر أو يتقاطع ضلعاها (أنصاف أقطار) في مركز المنحنى (o) ويمران أيضاً من طرفي هذا القوس أو الوتر، وإذا لاحظنا أن الزاوية المماسية أو زاوية الانحراف الجزئية(الزاوية المحصورة بين الوتر الجزئي والمماس للمنحنى في نقطة بداية الوتر) تساوي نصف الزاوية المركزية لهذا لوتر [لاحظ أنه في الشكل (11 - 2) تكون الزاوية المحصورة بين المماس T والوتر الكليLC تساوي نصف الزاوية المركزية الخاصة بالوتر الكلي حيث الأولى تساوي $\Delta / 2$ (بملاحظة أن المثلث PC, PI, PT متساوي الساقين لتساوي المماسين) بينهما الثانية تساوي Δ (لتساويها مع زاوية انحراف المماسين)] ، لذا فإنه إذا رمزنا لزاوية



الشكل 11 - 7 أطوال الأوتار الجزئية

الانحراف الجزئية للنقطة الأولى من المنحنى بـd_1 فإن الزاوية المركزية المقابلة للوتر أو القوس الجزئي الأول تساوي ضعفها أي $2d_1$ ، وعليه نكتب :

$\sin(d_1) = (C_{1/2})/R$

$\sin(d) = (C/2)/R$

$\sin(d_2) = (C_2/2)/R$

وبالتالي فإن طول الوتر الجزئي الأول (c_1) يساوي : (d_1) $c_1 = 2R \sin$

وطول كل من الأوتار الجزئية الوسطى (c) يساوي : $c = 2r \sin$

وطول الوتر الجزئي الأخير (c2) يساوي : (d_2) $c_2 = 2R \sin$

وفيما يلي الشكل العام للمعادلة التي تعطي طول الوتر بدلالة نصف القطر وزاوية الانحراف :

$$c_o = 2R\sin(d_o) \qquad (14-11)$$

حيث ترمز c_o إلى طول الوتر ذي العلاقة .

وترمز d_o إلى زاوية الانحراف المقابلة للقوس ذي العلاقة .

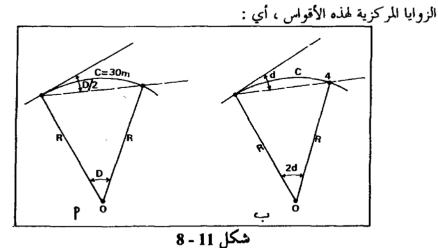
ملاحظات :

- عندما يكون نصف قطر المنحنى الدائري كبيراً أو عندما يقسم هذا المنحنى إلى أقسام بحيث لا يتجاوز طول القوس الجزئي الواحد مقدار (R/20) فإن الفرق بين طولي الوتر الجزئي والقوس الجزئي مهمل وعليه يعتبران عملياً متساويين أما إذا ما أريد تحديد أطوال الأوتار الجزئية بدقة فإننا نبدأ أولا بتقسيم المنحنى الدائري الكلي إلى عدة أقسام (أقواس جزئية) بحيث لا يتجاوز طول القوس الواحد مقدار (R/20) وبحيث تكون محطات مختلف نقاط المنحنى (ما بين نقطتي التماس الأولى والثانية) أرقاماً مدورة ومناسبة (تقبل القسمة على 5 أو 10)كما سبق وأشرنا ثم نطبق المعادلة الرياضية (11- 13) لاستنتاج زاوية الانحراف الجزئية التي تقابل أي قوس جزئي ضمن المنحنى الدائري المراد تصميمه وتحديد موقعه بعد ذلك يجري حساب أطوال الأوتار الجزئية بدلالة نصف القطر وزوايا الانحراف الجزئية وذلك باستخدام العلاقة

الرياضية(11-14) . بعد معرفة زاوية التقاطع (أي زاوية انحراف المماسين) يمكن تحديد المنحنى الدائري بإعطاء قيمة لإحدى العناصر السبعة التالية : R, T, E, M, L, LC, D_a, or D_c .

* علاقة زوايا الانحراف بدرجة المنحنى ، وفق التعريف القوسي (30m) :

يمكننا تعيين زاوية الانحراف الجزئية الخاصة بنقطة ما من منحنى دائـــري بمعرفـــة درجة ذلك المنحنى وطول القوس الجزئي الخاص بالنقطة. ففي الشكـــل (11-8 - أ) لدينا قوس دائري بطول 30m ، فإن زاويته المركزية ستساوي درجة هذا القـــوس أو المنحنى أي D وأمّا زاويته المماسية أو زاوية الانحراف الجزئية لـــه فستســـاوي D/2 (نصف الزاوية المركزية المنشأة على نفس القوس)ولو أن هناك قوساً آخر على نفـــس هذا المنحنى، شكل (11-8 - ب) طوله c فإن زاويته المركزية (2d) ســـتكون قطعـــاً مساوية لدرجة المنحنى نفسه (D) مضروبة بنسبة طول هذا القوس الجزئي (c) إلى طول القوس الذي يقابل زاوية مركزية تساوي درجة المنحـــنى (أي 30m) حيـــث تتناسب أطوال الأقواس على منحنى دائري واحد بنفس النسب التي تتناســـب فيـــها الزوايا المركزية لهذه الأقواس ، أي :



شكل 11 - 8

$$c/30 = 2d/D$$
$$d = (D)(c)/60$$

حيث: d بالدرجات

c بالأمتار

D بالدرجات

وحيث أن زوايا الانحراف تكون عادة صغيرة لذا يحبذ إعطاؤها بالدقائق وبالتالي تصبح لدينا العلاقة الرياضية التالية :

$$d' = \frac{D^{o}_{xc} \times 60}{60}$$

وعليه فإن زاوية الانحراف الجزئية (d_o) تعطى بدلالة درجة المنحنى D وطول القـــوس الجزئي c_o على الشكل التالي :

$$d'_o = D^o (c_o) \qquad (15-11)$$

حيث d'_o زاوية الانحراف الجزئية ، بالدقائق .

D^o درجة المنحنى بالدرجات .

c_o طول القوس الجزئي ، بالمتر.

ملحوظة :

إذا كانت لدينا ثلاث مجموعات من الأقواس بأطوال متمايزة وبالأحرى إذا كـــان طول القوس الأول يختلف عن أطوال الأقواس الوسطى وكلاهما يختلفان عـــن القـــوس الأخير فإن العلاقة (11-15) تصبح :

بالنسبة للقوس الجزئي الأول $d'_1 = D^o (c_1)$

بالنسبة للأقواس الجزئية الوسطى $d' = D^o (c)$

بالنسبة للقوس الجزئي الأخير $d'_2 = D^o (c_2)$

وعل أي الأحوال فإن المعادلة (11-15) ، التي تعطي زاوية الانحراف أو الزاويـــة المماسية بدلالة درجة المنحنى وطول القوس، لا تنطبق إلا على التعريف القوســـي (Arc Definition) المستند إلى قوس طوله 30m .

هـ – تخطيط المنحنيات الدائرية وتوقيعها في الطبيعة، [م10] [م15] [م31] [م32] [م33]

(Setting out or Ranging of Circular Curves)

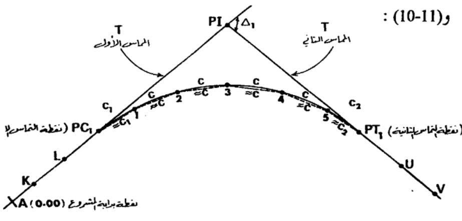
حيث أن الغرض من المنحنيات هو وصل الأجزاء المستقيمة ببعضها، بشكل تدريجي لتفادي التغيرات المفاجئة في الاتجاهات إذن لابد من تحديد وتوقيع هذه الأجزاء المستقيمة على الطبيعة ليتم ربطها بالمنحنيات اللازمة .

وكثيراً ما تكون هذه الأجزاء المستقيمة إما مثبتة وواضحة على الطبيعة في وقت سابق وإما أن تكون مجرد خطوط على الخرائط أو المخططات حيث أرادها المصمم (بعد دراسة مستفيضة كما أسلفنا) وتم ربطها بمعالم ثابتة أو بنقاط وخطوط أساسية محددة على الخرائط والمخططات ومحددة في الطبيعة .

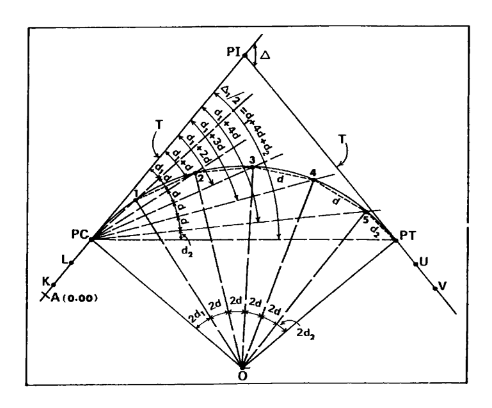
فإذا ما تم تحديد هذه الخطوط المستقيمة على الأرض نشرع الآن في وصل هذه الخطوط بمنحنيات دائرية بسيطة (موضوع البحث الآن) وفقاً لإحدى الطرق المناسبة وفيما يلي وصفاً لإحدى هذه الطرق : طريق رانكن أو طريقة زوايا الانحراف، حيث يستخدم جهاز الثيودوليت والشريط .

١ – طريقة رانكن أو زوايا الانحراف (Deflection Angle Method) :

لبيان هذه الطريقة نفترض أنه يراد وصل جزئين مستقيمين متتاليين ومختلفين في الاتجاه ولنفرض نقطتين مثل K , L على الجزء المستقيم الأول ونقطتين U, V على الجزء المستقيم الثاني فيكون تتابع خطوات العمل كالتالي ، شكلي (11-9) و(11-10) :



شكل 11 - 9 الأقواس الجزئية في طريقة رانكن



شكل 11-10 طريقة رانكن أو زوايا الانحراف في توقيع المنحنى

* – نعين نقطتي التماس وفقاً للخطوات التالية :

– يجري تمديد الخطين المستقيمين (بالاستعانة بجهاز الثيودوليت والشواخص) إلى أن يتقاطعا في النقطة PI(عادة تكون نقاط التقاطع، Pis، محددة بشكل مسبق في الطبيعة.

– يثبت جهاز الثيودوليت في نقطة التقاطع PI وتقاس زاوية الانحراف Δ .

– يحسب طول كل من المماسين T بمعلومية زاوية الانحراف Δونصف القطر R الذي يتم تحديده حسب المزايا الفنية والطبوغرافية .. للمشروع التي يرتئيها المهندس المصمم (مع ملاحظة أن بعض المنحنيات تصمم على أساس درجة المنحنى وهنا يتم اشتقاق نصف القطر بدلالة درجة المنحنى هذه).

– ابتداء من نقطة التقاطع PI نقيس طولاً مساوياً لطول المماس وعلى استقامة كل من المستقيمين KL, UV فتكون نقطة نهاية الطول المأخوذ على المستقيم KL هي نقطة

التماس الأولى PC ونقطة نهاية الطول المأخوذ على المستقيم UV هي نقطة التماس الثانية أو نقطة نهاية المنحنى PT (للتأكد من صحة العمل يجري في الحقل قياس الزاوية PT, PC, PI ويجب عندها أن تكون مساوية لنصف زاوية الانحرافΔ).

لاحظ أن محطة أو تدريج نقطة التماس PC يساوي قيمة محطة نقطة التقاطع PI مطروحاً منها طول المماس T .

* – تعيين زوايا الانحراف لعدد كافٍ من النقاط (حسب نوع المشروع ودرجة الدقة المطلوبة) وهنا نتبع الخطوات التالية :

– يحسب المنحنى L بمعلومية زاوية الانحراف (Δ) ونصف القطر R أو درجة المنحنى (D) أي إما من العلاقة : $L = \pi R\Delta / 180$ أو $L = 30 \times \Delta / D$ (وفق التعريف القوسي وبطول 30m).

– يقسم المنحنى L إلى عدد من الأقواس الجزئية بحيث لا يتجاوز طول أي منها المقدار R/20 وذلك لتقليل الفرق بين طول القوس ووتره .

– نختار طولاً للقوس الجزئي الأول (c_1) بحيث تصبح محطة النقطة الأولى (1) رقماً مناسباً ومدوراً يقبل القسمة على (5 أو10) دون كسر على أن يبقى هذا الطول أصغر من R/20 .

– نختار طولاً واحداً ، مناسباً ومدوراً،(c) للأقواس الوسطى بحيث تكون محطات نقاط المنحنى جميعاً ذات أرباع مدورة ومناسبة ولا تتعدى أطوالها R/20 .

– نختار طولاً للقوس الجزئي الأخير من المنحنى (c_2) بحيث يتمم طول المنحنى الكلي L أي أن: $c_2 = L - (c_1 + nc)$ حيث ترمز n إلى عدد الأقواس الجزئية الوسطى.

– تحسب الآن زوايا الانحراف الجزئية أو المماسية لكافة الأقواس الجزئية إما من العلاقة الرياضية (11-13) :

$$(d_o)' = 1718.873\,(c_o / R)$$

أو من العلاقة الرياضية (11-15) المستندة إلى التعريف القوسي بطول (30m) :

$$(d_o)' = D^o (c_o)$$

للتحقق من صحة الحسابات يجب أن يكون مجموع زوايا الانحراف الجزئية المقابلـــة للأقواس الجزئية (d_1+nd+d_2) مساوياً لـــ $\Delta / 2$، انظر الشكلين (11-9)،)(11-10).

* – يثبت جهاز الثيودوليت فوق نقطة التماس الأولى PC وبعد ضبطه تماماً نرصـــد نقطة التقاطع PI أو أي نقطة أخرى باتجاه نقطة التقاطع وعلى استقامة المستقيم الأول KL ثم نصفر الزوايا الأفقية .

* – يدور المنظار الآن بزاوية أفقية مقدارها زاوية الانحراف الجزئية الأولى d_1 فيصبح خط النظر الآن باتجاه النقطة الأولى المراد تحديدها من المنحنى ثم يمسك الآن قائس خلفي Rear Chainman صفر الشريط عند نقطة التماس الأولى PC_1 بينما يمسك القائس الأمامي Leader الشريط عند التدريج المعادل لطول القوس الجزئي الأول c_1 (الوتر الجزئي الأول تقريباً) ويشد الشريد جيداً وأفقياً (بينما يثبت القائس الخلفي وصفـــر الشريط عند نقطة التماس الأولى) ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً إلى أن يصبح الشريط وفق اتجاه خط النظر(حيث يتلقى توجيهات وإشارات سهلة وواضحة من الراصـــد، أي الموجه والقارىء لجهاز الثيودوليت) وعندها يغرس علامة (وتد خشبي أو قضيب حديدي أو أية إشارة أخرى مناسبة) بشكل رأسي وماسّ للتدريج مـــن الشريـــط الموافق لطول القوس أو الوتر الجزئي الأول فتكون بذلك قد تحددت النقطـــة الأولى (1) من المنحنى الدائري، الشكل (11-10) .

* – يدوّر المنظار من جديد بزاوية أفقية مقدارها d أي زاوية الانحراف الجزئية لإحـــدى النقاط الوسطى من المنحنى بحيث تصبح قراءة الزاوية الأفقية مساوية $d_1 + d$ وعندها يمسك القائس الخلفي صفر الشريط عند النقطة الأولى (1) من المنحنى التي فرغنا الآن من تحديدها بينمـــا يمسك القائس الأمامي الشريط جيداً وأفقياً ويبدأ بالحركة يمينـــاً أو يساراً (بينما القيّاس الخلفي وصفر الشريط ثابتين عند النقطة (1) إلى أن يقطـــع خط النظر التدريج المذكور من الشريط (يتم هذا بمساعدة الراصد حيـــث يعطـــى التوجيهات الضرورية لحركة القائس الأمامي يميناً ويساراً) وعندها يتوقف القيـــاس الأمامي عن الحركة ويغرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكـــل رأســـي

وماسّ للتدريج من الشريط المعادل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوســـط فتتعـــين بذلك النقطة الثانية (2) من المنحنى الدائري.

* – لتعيين نقطة أخرى 3 من النقاط الوسطى على المنحنى الدائري ندوّر المنظـــار مـــن جديد بزاوية أفقية مقدارها d ، أي زاوية الانحراف الجزئية للنقاط الوســـطى مـــن المنحنى بحيث تصبح قراءة الزاوية الأفقية مساوية : $d_1 + d + d = d_1 + 2d$ ثم يمسك القائس الخلفي صفر الشريط عند النقطة الثانية (2) من المنحنى التي فرغنا الآن مـــن تحديدها بينما يمسك القائس الأمامي الشريط عند التدريج المساوي لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوسط (c) ثم يشد الشريط جيداً وأفقياً (بينما القائس الخلفي وصفر الشريط ثابتين عند النقطة (2) ويبدأ بالحركة يميناً أو يساراً إلى أن يقطع خط النظر التدريج المذكور من الشريط وعندها يتوقف القائس الأمامي عن الحركـــة ويغرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكل رأسي وماسّ للتدريج مـــن الشريـــط المقابل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأوسط (c) فتعين بذلك النقطة (3) مـــن المنحنى الدائري.

* – تثبت النقاط المتوسطة الأخرى بنفس الأسلوب الوارد في البندين هـــ، و، وإلى أن نصل النقطة الأخيرة من المنحنى الدائري والتي تسبق نقطة التماس الثانية PT مباشرة أي النقطة (5) (لاحظ أن الزاوية الأفقية تكون هنا مســـاوية $(d_1 + 4d)$ حيـــث يكون خط النظر للمنظار قاطعاً أو باتجاه النقطة (5) من المنحنى)، شكل (11-10) .

* – الآن يدور المنظار من جديـــد بزاوية أفقية مقدارها d_2 فيصبح خط النظـــر باتجـــاه نقطة التماس الثانية PT (إن كان العمل والحسابات صحيحين) ثم يمسك القـــائس الخلفي صفر الشريط عند النقطة الأخيرة من النقاط المتوسطة على المنحنى الدائـــري، (5)، في مثالنا هذا، بينما يمسك القائس الأمامي الشريط عند التدريج المعاجل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأخير ويشد الشريط جيداً وأفقياً ويبدأ بالحركـــة يمينـــاً أو يساراً إلى أن يتقاطع خط النظر مع التدريج المذكور من الشريط وعندها يتوقـــف القائس الأمامي عن الحركة ويغرس في الأرض علامة ثابتة بحيث تكون بشكل رأسي وماسّة للتدريج من الشريط المقابل لطول القوس أو الوتر الجزئي الأخير (c_2) فتعـــين

بذلك النقطة الأخيرة أي PT من للمنحنى الدائري لاحظ أنه يفترض أن تكون قراءة الزاوية الأفقية مساوية لنصف زاوية الانحراف Δ إن كان العمل صحيحاً .

تدقيق العمل :

- عند تثبيت النقطة الأخيرة من النقاط المتوسطة (النقطة التي تسبق نقطة التماس الثانية PT مباشرة)، أي النقطة (5) في مثالنا هذا، فإننا نقيس بالشريط المسافة بين هذه النقطة (5) وبين نقطة التماس الثانية PT والتي سبق تحديدها عن طريق قياس طول المماس ابتداء من نقطة التقاطع PI_1 باتجاه المستقيم الثاني UV فإن توافق هذا المقدار مع طول القوس أو الوتر الجزئي الأخير المحسوب كان العمل ممتازاً وانتهت عملية التثبيت وإن كان الفرق مهملاً (10cm - 5) فإنه يجري تعديل مواقع جميع الأوتاد المغروسة الممثلة لنقاط المنحنى الدائري بحيث تصبح المسافة المقيسة بين العلامة أو الوتد الأخير (هنا النقطة أو الوتد رقم 5) وبين نقطة التماس الثانية PT_1 (أو PT كما في الشكل (11-10) متطابقة إلى حد كبير مع الطول المحسوب للوتر أو القوس الجزئي الأخير (c_2) .
- لتدقيق حسابات زوايا الانحراف فإنه يجب أن يكون مجموع زوايا الانحراف d_1 +nd) (d2 + مساوياً لنصف زاوية الانحراف Δ حيث ترمز n إلى عدد الأقواس الوسطى وهنا في مثالنا $n = 4$.
- إذا لم يكن قد تم تعيين موقع نقطة التماس الثانية PT فإنه يجب التأكد أولاً من أن النقطة PT (المحددة بواسطة زاوية الانحراف وطول الوتر الجزئي) تقع على استقامة المماس الثاني UV . بعد هذا يجري قياس المسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة الـPT فإن توافقت هذه المسافة مع طول المماس المحسوب مسبقاً يكون قد انتهى توقيع المنحنى الدائري بشكل جيد وإن كان الفرق مهملاً (5-10cm) فيجري تعديل مواقع الأوتاد بحيث تصبح نقطة التماس PT واقعة على استقامة خط المماس الثاني وعلى مسافة من نقطة التقاطع PI تساوي طول المماس ($R \tan \Delta/2$) . وفي حالة كون الفرق معتبراً، يزيد عن 10cm، يجب إعادة تثبيت المنحنى الدائري.

ملاحظات :

- إذا لم يكن قد تم تعيين موقع نقطة التماس الثانية PT فإنه يجب التأكد أولاً من أن النقطة PT (المحددة بواسطة زاوية الانحراف وطول الوتر الجزئي) تقع على استقامة المماس الثاني UV . بعد هذا يجري قياس المسافة بين نقطة التقاطع PI ونقطة الـPT فإن توافقت هذه المسافة مع طول المماس المحسوب مسبقاً يكون قد انتهى توقيع المنحنى الدائري بشكل جيد وإن كان الفرق مهملاً (5-10cm) فيجري تعديل مواقع الأوتاد بحيث تصبح نقطة التماس PT واقعة على استقامة خط المماس الثاني وعلى مسافة من نقطة التقاطع PI تساوي طول المماس ($R \tan \Delta/2$) . وفي حالة كون الفرق معتبراً ، يزيد عن 10 cm ، يجب إعادة تثبيت المنحنى الدائري.

- إن درجة الدقة المطلوبة تعتمد على نوع الطريق وصنفه وطبوغرافية المنطقة ونوعية وكفاءة الفريق العامل وكذا الأجهزة المستخدمة ولذا فإن مقدار الخطأ المسموح به يختلف من حالة لأخرى .
- لاحظ أننا افترضنا أن طول القوس الجزئي يساوي طول الوتر الجزئي وهذا الأمر مقبول طالما لم تتجاوز أطوال الأقواس الجزئية المقدار R/20 وإذا ما أردنا دقة أكثر فلابد أن ندخل الأطوال الحقيقية للأوتار والمساوية بشكل عام لـ $2R \ \sin d$ حيث R نصف القطر و (d) زاوية الانحراف ولكن لا حاجة لهذا الأمر عملياً .

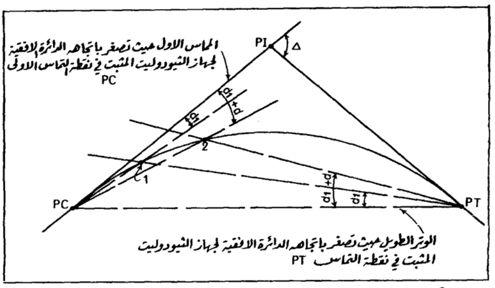
2 – تثبيت المنحنى الدائري باستخدام جهازي ثيودوليت

The Two- Theodolites Method of Setting out of Curves

لا حاجة هنا لاستخدام الأشرطة أو أية أدوات قياس خطية حيث يقتصر الأمر على استخدام جهازي ثيودوليت لقياس الزوايا ولإنجاز ذلك نقوم بالخطوات التالية :

- تحسب أطوال الأقواس الجزئية (c_1, c, c_2) كالمعتاد .
- تحسب زوايا الانحراف الجزئية أيضاً كالمعتاد (d_1, d, d_2) الشكل (11-11) .
- يحسب طول كل من المماسين وتحدد نقطتا التماس PC, PT في الطبيعة كالمعتاد .

- يثبت جهاز ثيودوليت في نقطة التماس الأولى PC وتصفر الدائرة الأفقيــــة باتجـــاه المستقيم أو المماس الأول وكذلك يثبت جهـــاز ثيودوليت ثان في نقطـــة التمـــاس الثانية PT وتصفر الدائرة الأفقية باتجاه الوتر الطويل PT,PC بدلاً من الممــــاس أي ترصد نقطة التماس الأولى PC ثم تصفر الدائرة الأفقية .



شكل 11-11 تثبيت المنحنى الدائري باستخدام جهازي ثيودوليت

- يلف المنظار الآن بدءاً من المماس الأول بزاوية أفقية مقدارها مساو لزاوية انحـــراف النقطة الأولى من المنحنى (d_1) ثم يلف في الوقت نفسه (بواسطة فريق آخر موجود في نقطة التماس الثانية) منظار الجهاز الثاني المثبت في نقطة التماس الثانية بزاوية أفقيـــة مساوية لزاوية الانحراف نفسها (d_1) ولكن بدءاً من الوتر الطويل PC, PT لاحـــظ الشكل (11-11) .
- أثناء الرصد بواسطة جهازي الثيودوليت، يقوم قائس (يحمل معه شواخص وأوتـــاد خشبية وحديدية) بتحريك وتد أو شاخص وفق إشارات مناسبة يتلقاها من الفريقين الراصدين من نقطتي التماس إلى أن يصبح الوتد عند نقطة تقـــاطع خطـــي النظـــر لجهازي الثيودوليت فتكون نقطة التقاطع هذه هي النقطة (1) من المنحنى الدائري.

- لتثبيت النقطة (2) من المنحنى يتابع لف منظار كل من جهازي الثيودوليت المثبتين في نقطتي التماس إلى أن يقرأ على كل من الدائرتين الأفقيتين المقدار (d_1 + d') حيث (d) هي زاوية الانحراف الجزئية للنقطة الوسطى (2) من المنحنى وفي الوقت نفسه يكون القائس قد انتقل إلى موقع جديد باتجاه الموقع التقريبي للنقطة (2) من المنحنى ويبدأ بتحريك وتد جديد متلقياً إشارات مناسبة من الراصدين في كل من نقطتي التماس إلى أن يصبح هذا الوتد على استقامة كل من خطي النظر للجهازين (أي عند نقطة التقاطع لخطي النظر للجهازين) فتتحدد بذلك النقطة (2) من المنحنى الدائري.
- لتثبيت نقطة أخرى نتبع الأسلوب نفسه تماماً أي ندور منظار كل من الجهازين بنفس المقدار وبقدر يساوي زاوية الانحراف الجزئية للنقطة المراد تحديدها في الطبيعة وتحدد من جديد نقطة تقاطع خطي النظر لتكون بمثابة نقطة جديدة من المنحنى. لاحظ أنه في حالة الشكل (11-11) فإن تدوير كل من المنظارين يكون باتجاه دوران عقارب الساعة .

ملاحظات :

- يحبذ استخدام هذه الطريقة عندما تكون منطقة المنحنى وعره وغير ملائمة للقياسات الخطية باستخدام الشريط بسبب العوائق الطبيعية أو الاصطناعية، وكذلك يلجأ إلى هذه الطريقة عند عدم توافر أشرطة ولو أن هذا الأمر نادراً ما يحدث.
- هذه الطريقة مبنية على أساس أن الزاوية المماسية (أي الزاوية المحصورة بين مماس ووتر) تساوي الزاوية المحيطية أي بعبارة أخرى الزاوية المحصورة بين وتر ومماس تساوي الزاوية المرسومة على نفس الوتر والتي رأسها على إحدى نقاط محيط الدائرة.
- إذا كانت نقطتا التماس غير مرئيتين من بعضهم البعض وبالتالي لا يمكن رصد نقطة التماس الأولى PC من نقطة التماس الثانية PT فيمكن تصفير الدائرة الأفقية وفق الوتر الطويل PC,PT بطريقة أخرى وهي أن نرصد نقطة التقاطع PI بدلاً من نقطة التماس الأولى PC ونصفر الدائرة الأفقية ثم نلف المنظار باتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعات وبمقدار $\Delta/2$، الشكل (11-11) ، فيصبح خط النظر باتجاه نقطة التماس الأولى PC أي وفق خط الوتر الطويل، الآن نقوم بتصفير الدائرة الأفقية من

حديد دون أن يتأثر خط النظر ونهيء الجهاز لبدء القياس الفعلي باتباع الطريقة آنفة الذكر. لا داعي للتنبيه هنا إلى ضرورة الانتباه إلى قراءات الزوايا واتجاه لف المنظـــار واستخراج القيمة الصحيحة للزاوية إذ يمكن أن يبدأ قياس الزوايا الأفقية بدءاً مـــن قراءات مختلفة على الدائرة الأفقية ، على كل حال، إن التقييم الصائب وملاحظـــة العمل بذكاء وانتباه والتدقيق أو التقدير الشخصي السليم للقياسات والنتائج هي من الأمور المهمة التي يجب أن يحرص عليها المساح الناجح باستمرار.

3 – تخطيط المنحنيات الدائرية باستخدام الأجهزة الالكترو–بصرية الحديثـــة : أجهزة المحطات الشاملة [م7] [م8] [م9] [م20] [م22] [م24] [م52]

(Curve Layout Using Electro- Optical Instruments, Total Stations)

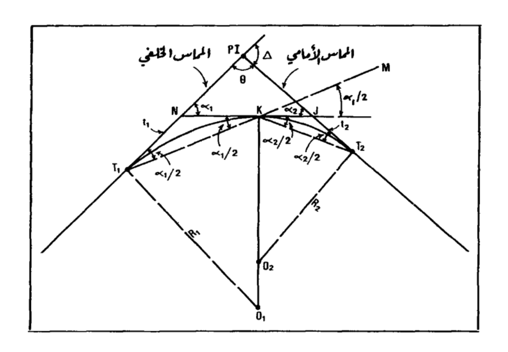
نظراً لأن أجهزة المساحة الالكتروبصرية الحديثة (Electro- Optical Instruments) أجهزة المحطات الشاملة، تمكن من قياس مسافة وزاوية في عملية رصد واحـــدة للجـــهاز (Single Pointing of the Instrument) لذا فإن استخدام مثل هذه الأجهزة في تخطيط وتوقيع المنحنيات من شأنه أن يسهّل هذا الأمر مقارنة بالطرق المشروحة آنفاً . المثال رقم (6-11) يبين وصفاً تفصيلياً لاستخدام أجهزة المحطـــات الشاملـــة (Total Station) في تخطيط (توقيع) المنحنيات الدائرية.

2-1-2-11 المنحنيات المركبة (Compound Curves) ، [م31] [م32] [م41] [م42]

يتألف المنحنى المركب من منحنيين أفقيين (أو أكثر) متتابعين بحيث تكون نقطـــة التماس الثانية للمنحنى الأول هي نفسها نقطة التماس الأولى للمنحنى الثـــاني. كذلـــك تكون مراكز المنحنيات المتتابعة المشكلة للمنحنى المركب في جهة واحدة منه كما سنرى في الأشكال التي ستلي فيما بعد .

أ – عناصر المنحنى المركب Notations and Elements of Compound Curve :

في الشكل (11-12) دعنا نرمز لنقطة تماس المنحنى المركب مع المستقيم أو المماس الخلفي (Rear or Back Tangent) بالرمز T_1 وبالرمز K لنقطة التقاء أو تماس المنحنيين الدائريين المشكلين للمنحنى المركب وهي نفس نقطة تماس المماس المشـــترك Common Tangent مع المنحنى المركب كذلك دعنا نرمز بـــ T_2 لنقطة تماس المنحنى المركب مـــع



شكل 11 - 12 عناصر المنحنى المركب

المماس المتقدم أو الأمامي Forward Tangent وبالرمز I لنقطة تقاطع المماس الخلفي مع المماس المشترك وبالرمز J لنقطة تقاطع المماس المشترك مع المماس المتقدم أو الأمامي وبـ PI لنقطة تقاطع المماس الأول والثاني (الخلفي والأمامي على الترتيب) أما مركز المحنى الدائري الخلفي أو الأيسر فسنرمز له بـ O_1 ونرمز لمركز المنحنى الدائري الأمامي أو الأيمن بـ O_2 وسنرمز لزاوية انحراف المماسين الأول والأخير (الخلفي والأمامي على الترتيب) بـ(Δ) ولزاوية انحراف المماسين الأول (الخلفي) والمشترك بـ(α_1) ولزاوية انحراف المماسين المشترك والأمامي بـ (α_2) كما سنرمز بـ (t_1) للطول المشارك مع المماس الخلفي وهو يساوي بالطبع الجزء NK من المماس المشترك وبـ (t_2) للطول المشارك من المماس الأمامي وهو يساوي الجزء الثاني JK من المماس المشترك، أما منصف

قطر المنحنى الأول أو الأيسر فسنرمز له بـــ R_1 وأخيراً R_2 لنصف قطـــر المنحنى الثاني أو الأيمن . واستناداً للشكل (11-12) والرموز هذه التي اصطلحنا عليها يمكننا كتابة :

* زاوية انحراف المماسين الأمامي والخلفي : $\Delta = \alpha_1 + \alpha_2$
* زاوية تقاطع المماسين الأمامي والخفي : $\theta + 180° - (\alpha_1 + \alpha_2)$
* طول المماس المشترك الخلفي : $N,T_1 = N,K - t_1 = R_1 \tan(\alpha_1 / 2)$
* طول المماس المشترك الأمامي: $J,T_2 = J,K = R_2 \tan(\alpha_2 / 2)$

* طول المماس المشترك (NJ) :

$$N,J = N,K + JK = R_1 \tan(\alpha_1 / 2) + R_2 \tan(\alpha_2 / 2)$$

* طول كل من الجزأين المتبقيين من المماس الخلفي والأمامي :

$$N,J / \sin\theta = N,PI / \sin\alpha_1$$

وعليه نكتب :

$$N,PI = N,J \frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta} \quad ,J,PI = N,J \frac{\sin\alpha_1}{\sin \theta}$$

وبالتعويض عن قيمة NJ ينتج لدينا طول الجزء المتبقي من المماس الخلفي :

$$N,PI = (R_1 . \tan\frac{\alpha_1}{2} + R_2 . \tan - \frac{\alpha_2}{2}) \frac{\sin\alpha_2}{\sin \theta} \quad \text{......(16-11)}$$

وطول الجزء المتبقي من المماس الأمامي :

$$J,PI = (R_1 . \tan\frac{\alpha_1}{2} + R_2 . \tan\frac{\alpha_2}{2}) \frac{\sin\alpha_1}{\sin \theta} \quad \text{......(17-11)}$$

* طول المماس الخلفي الكلي : T_b :

$$T_1, P_1 = N,T_1 + N,PI = R_1 . \tan\frac{\alpha_1}{2} + [R_1 . \tan\frac{\alpha_1}{2} + R_2 . \tan\frac{\alpha_2}{2}](\frac{\sin\alpha_2}{\sin\theta}) \quad \text{......(18-11)}$$

* طول المماس الأمامي الكلي T_f :

$$T_2, PI = J,T_2 + J,PI = R_2 . \tan\frac{\alpha_2}{2} + [R_1 . \tan\frac{\alpha_1}{2} + R_z . \tan\frac{\alpha_2}{2}](\frac{\sin\alpha_1}{\sin\theta}) \quad \text{......(19-11)}$$

وبملاحظة المعادلات السبعة السابقة يتضح أنه إذا عرفت أربعة عناصر من العناصر السبعة الأساسية $(\Delta; \alpha_1; \alpha_2; R_1; R_2; T_1, PI; T_2, PI)$ فيمكن اشتقاق بقية العناصر .

ب – تثبيت المنحنيات المركبة في الحقل Setting out a Compound Curve :

لا جديد هنا في تثبيت المنحنيات المركبة سوى أنه يستلزم الأمر تثبيت منحنيين دائريين بسيطين متتاليين ومختلفي القطر وعليه فيمكن توقيعه في الطبيعة بإحدى الطرق المشروحة والمتبعة في تثبيت المنحنيات الدائرية البسيطة مع ملاحظة أنه لا مجال عملياً هنا لاستخدام الطرق الخطية بل من المؤكد أن طريقة زاوية الانحراف هي الأنسب لمثل هذا النوع من المنحنيات وفيما يلي نوجز بالترتيب ما يجب إتباعه سواء كان ذلك في المكتب أم في الحقل :

* القياس الحقلي لزاويتين فقط من الزوايا الثلاثة التالية : Δ or θ α_1 and α_2 .
* حدد نصفي قطري المنحنيين الدائريين الأيسر والأمامي المشكلين للمنحنى الدائري المركب أو حدد طولي المماسين الكليين الخلفي (T_1 or PI) والأمامي (T_2 or PI) أو أحد نصفي القطرين (R_1 or R_2)وكذلك أحد طولي المماسين الكليين(T_1 PI or T_2, PI).
* اشتق العناصر المتبقية من العناصر الأساسية السبعة :

$$(\Delta; \alpha_1; \alpha_2; R_1; R_2; T_1, PI; T_2, PI)$$

* حدد في الحقل نقطة تقاطع المماسين الخلفي والأمامي PI وكذلك نقطتي التماس T_1, T_2 .
* احسب محطة نقطة الأولى (T_1) بمعرفة محطة نقطة التقاطع PI (تكون عادة معلومة) وطول المماس الخلفي الكلي (T_2, P_I) وذلك من العلاقة التالية :

$$\text{Chainage of } T_1 = \text{Chainage of PI} - T_1, PI$$

* احسب طول كل من المنحنيين الدائريين البسيطين :

$$L_1 = \pi R_1 \alpha_1 / 180, L_2 = \pi R_2 \alpha_2 / 180$$

فتكون محطة نقطة التماس الأخيرة (T_2) مساوية :

$$\text{Chainage of of } T_2 = \text{Chainage of } T_1 + (\pi R_1 \alpha_1 / 180 + (\pi R_2 \alpha_2) / 180$$

أما محطة نقطة التماس المشترك K فبالطبع تساوي :

$$\text{Chainage of k} = \text{Chainage of } T_1 + \pi R_1 . \alpha_1 / 180$$

* احسب أطوال الأقواس الجزئية وزويا الانحراف الجزئية لكل من المنحنيين الدائريين على انفراد وذلك بنفس أسلوب المنحنيات الدائرية البسيطة (حيث أن كلا من المنحنيين المشكلين للمنحنى الدائري المركب هو في الواقع منحنى دائري بسيط).

* ثبت جهاز الثيودوليت الآن في نقطة التماس الأولى T_1 وبعد ضبط أفقيته تماماً أرصد نقطة التقاطع PI وصفر الزوايا الأفقية واشرع بمساعدة الشريط في توقيع زوايا الانحراف الجزئية وقياس أطوال الأوتار الجزئية لتتحدد مجموعة النقاط اللازمة لتحديد المنحنى الدائري الأول أو الأيسر وذلك باتباع نفس الأسلوب المستخدم في تثبيت المنحنيات الدائرية البسيطة .

* الآن انقل الجهاز إلى نقطة التماس المشتركة K وبعد ضبط الجهاز تماماً (الأفقية والتمركز فوق النقطة k) أرصد نقطة التماس الأولى T_1 واعكس المنظار (لف المنظار في المستوى الرأسي بتدويره حول محوره الأفقي مع ملاحظة انعدام الحركة الأفقية للمنظار) فيصبح خط النظر باتجاه KM و الآن صفر الزوايا الأفقية ولف المنظار في المستوى الأفقي حتى تقرأ الدائرة الأفقية $\alpha_1 / 2$ فيصبح عندها خط النظر باتجاه المماس المشترك من جهة المماس الأمامي ؛ لاحظ الشكل (11-12) .

* حيث أن الجهاز مثبت في نقطة التماس المشتركة k وخط النظر باتجاه المماس المشترك أي باتجاه KJ بقي علينا أن نصفر الزويا الأفقية بينما خط النظر لا يزال باتجاه KJ ثم بعدها نشرع في لف المنظار بمقادير زوايا الانحراف الجزئية المحسوبة بواسطة الشريط مستخدمين بالضبط نفس الأسلوب المستخدم في توقيع المنحنى الدائري الأول (الأيسر) أو أي منحنى دائري بسيط .٥

ملحوظة :

- لتحقيق دقة العمل يمكنك في الحقل قياس الزاوية $(T_1\ K\ T_2)$ فإن كانت مساوية للمقدار : $(180° - \alpha_1 / 2 - \alpha_2 / 2) = 180° - (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 = 180° - \Delta / 2$.

كان العمل مضبوطاً وإلا فالفرق هو مقدار الخطأ الواجب تصحيحه إن كان صغيراً أو إهماله إن كان مهملاً أو إعادة القياس إن كان كبيراً كما سبق أن ذكرنا في بحث المنحنيات الدائرية البسيطة .

- تجدر الملاحظة أنه بعد تحديد اتجاه المماس الأيسر لكل من المنحنيين الدائريين المشكلين للمنحنى الدائري المركب تصبح متابعة العمل شيئاً شبيهاً تماماً بالمنحنيات الدائرية البسيطة ولا اختلاف من حيث أسلوب الحساب والتوقيع على الإطلاق، لذا يرجى الرجوع إلى بحث المنحنيات البسيطة عند أي غموض .
- تجدر الملاحظة أنه بعد تحديد اتجاه المماس الأيسر لكل من المنحنيين الدائريين المشكلين للمنحنى الدائري المركب تصبح متابعة العمل شيئاً شبيهاً تماماً بالمنحنيات الدائرية البسيطة ولا اختلاف من حيث أسلوب الحساب والتوقيع على الإطلاق لذا يرجى الرجوع إلى بحث المنحنيات البسيطة عند أي غموض .

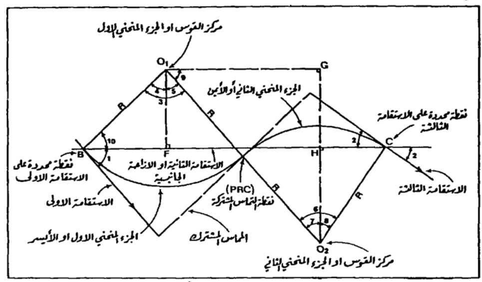
11-2-1- 3 المنحنيات العكسية (Reversed Curves)؛ [م25] [م37] [م38] [م52]

يُقدّر في الحياة العملية أن يلجأ المهندس إلى وصل نقطة محدّدة على استقامة باتجاه ما بنقطة أخرى محدّدة على استقامة أخرى بنفس اتجاه الاستقامة الأولى ولكن بوجود إزاحة جانبية ففي مثل هذه الحالة يكون الحل باللجوء إلى المنحنيات العكسية Reversed Curves .

ففي الشكل (11-13) دعنا نفترض أن المحور المقترح مبدئياً لجزء من الطريق هو وفق المضلع المفتوح ABCD (عبارة عن ثلاث استقامات جزئية متتالية) وأنه يراد عند التصميم النهائي أن يمر محور الطريق من النقطتين B,C. من أجل ذلك نقوم بالخطوات التالية :

- نقيس في الحقل المسافة الأفقية للضلع BC (الاستقامة الثانية).
- نقيس الزاويتين الأفقيتين 1, 2 أي زاوية انحراف الاستقامة الثانية عن الاستقامة الأولى وزاوية انحراف الاستقامة الثالثة عن الاستقامة الثانية على التوالي .

- نفترض ونقبل عملياً بتساوي نصفي القطرين لجزئي المنحنى الدائري العكســـي الآن يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية بملاحظة تعامد كل من $O_1F,\ O_2G$ على الضلع BC :



شكل 11 - 13 المنحنى العكسي

$$\text{Cos}\ \hat{5} = \text{Sin}\ \hat{9} = \frac{GO_2}{O_1\ O_2} = \frac{CH + HO_2}{2R}$$

لكن

$$GH = O_1F = R.\text{Cos}\ \hat{4}$$

وحيث أن

$$\hat{10} + \hat{4} = \hat{10} + \hat{1} = 90°$$

إذن

$$\hat{1} = \hat{4}\ ,\quad GH = R.\text{Cos}\ \hat{1}$$

وبالمثل يمكن البرهان على أن 2 - 8 وبالتالي :

$$HO_2 = R\ \ \text{Cos}\,\hat{8} = R.\text{Cos}\,\hat{2}$$

وعليه :

$$\text{Cos}\ \hat{5} = \frac{R.\text{Cos}\,\hat{1} + R.\text{Cos}\,\hat{2}}{2R}$$

$$\text{Cos}\ \hat{5} = \frac{\text{Cos}\ \hat{1} + \text{Cos}\,\hat{2}}{2}$$

كذلك لدينا :

$$BC = BF + FH + HC$$

ولكن :

$$BF = R.\text{Sin}\,\hat{4} = R.\text{Sin}\,\hat{1}$$

$$HC = R.\text{Sin}\,\hat{8} = R.\text{Sin}\,\hat{2}$$

$$FH = O_1G = 2R.\text{Sin}\,\hat{7} = 2R.\text{Sin}\ \ \hat{5},$$ (بالتبادل $\hat{7} = \hat{5}$)

فيصبح لدينا :

$$BC = R.Sin\,\hat{1} + R.Sin\,\hat{2} + 2R.Sin\,\hat{5} = R(Sin\,\hat{1} + Sin\,\hat{2} + 2Sin\,\hat{5})$$

وحيث أن الزاويتين 2 , 1 والضلع BC تم قياسها جميعاً في الحقل وكذلك الزاوية 5 تم اشتقاقها بمعلومية الزاويتين المعلومتين 2 , 1 ونصف القطر R إذن يمكن استنباط قيمة نصف القطر R لجزئي المنحنى العكسي من العلاقة :

$$R = \frac{BC}{Sin\,\hat{1} + Sin\,\hat{2} + 2\,Sin\,\hat{5}}$$

كذلك يمكن بسهولة معرفة قيمتي الزاويتين المركزيتين لجزئي المحنى العكسي وهما 6 , 3 حيث :

$$\hat{3} = \hat{4} + \hat{5} = \hat{1} + \hat{5}$$

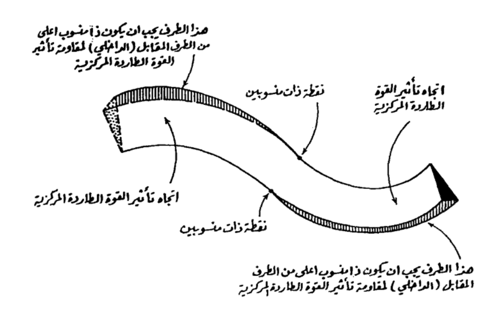
$$\hat{6} = \hat{7} + \hat{8} = \hat{5} + \hat{2}$$

الآن بمعلومية نصف القطر R ونقطة التماس الأولى B (والمحددة بشكل مسبق) والزاوية المركزية للجزء المنحني الأولي (الأيسر) من المنحني العكسي فإنه يمكن تحديد مختلف نقاط هذا المنحني ، كذلك بمعرفة نقطة التماس المشتركة PRC أو نقطة المنحنى العكسي(Point of Reversed Curve) ونصف القطر R والزاوية المركزية للجزء المنحني الثاني (الأيمن) من المنحني العكسي يمكن تثبيت العدد اللازم من نقاط هذا الجزء وبالتالي يمكن تصميم وتوقيع المنحني العكسي بجزئية الأيسر والأيمن .

ملحوظات :

- ينصح في حالة المنحنيات العكسية اللجوء إلى استخدام أنصاف أقطار كبيرة وفي حالة استحالة ذلك فلابد من وضع قيود على السرعة واستخدامها فقط في حالات الطرق قليلة الأهمية حيث حركة المرور بطيئة .
- نظراً لوجود تغير مفاجيء في الاتجاه بين جزئي المنحنى العكسي لذلك يستحيل عملياً اللجوء إلى زيادة الميل العرضي Superelevation فبينما يتطلب أحد الأجزاء وجود ميل العرضي باتجاه معين فإن الجزء الآخر يتطلب ميل عرضي في الاتجاه المعاكس لاحظ الشكل (11-14) . وبالتالي فإنه عند المقطع المار بنقطة التماس المشتركة تكون السرعة كبيرة تزداد القوة الطاردة المركزية ولا نجد من علاج يخفف وطأتها في هذا النوع من المنحنيات . وبسبب استحالة اللجوء إلى زيادة الميل العرضي سوى تحديد السرعة بشكل تصبح معه تأثيرات القوة الطاردة المركزية مهملة .

- بشكل عام لا ينصح باستخدام المنحنيات العكسية إلا عند الضرورة القصـــوى مـــع ضرورة مراعاة النقاط السابقة .



شكل 11 - 14

2-2-11 المنحنيات المتدرجة (Transition or Easement Curves)[م25] [م38] [م52]

1-2-2-11 مقدمة :

يعرف المنحنى المتدرج Transition or Easement Curve بأنه المنحنى الرياضي الذي يتغير فيه مقدار القطر بشكل مستمر وتدريجي على طول المنحنى وفي العادة يبـــدأ بنصف قطر كبير لا متناهي وينتهي بنصف قطر محدود ومن الطبيعـــي حســـب هـــذا التعريف أن يكون هناك عدد كبير من المنحنيات المتدرجة المختلفة نذكر منها ثلاثة أنواع أساسية لاحقاً .

كما لاحظنا في المنحنيات الدائرية ، هناك تغير مفاجيء في مقدار نصف القطر أو الانحناء عند كل نقطة تماس بين المنحنى والجزء المستقيم من المشروع (أي عنـــد نقطـــتي التماس الأولى والثانية من كل منحنى PCs & PTs).

إن الانتقال المفاجيء عند نقاط التماس من درجة انحناء (Degree of Curvature) مساوية للصفر (حيث نصف قطر الجزء المستقيم يساوي ما لانهاية) إلى درجـــة انحنـــاء محدودة (على سبيل المثال ثـــلاث درجـــات أي 3-Degree Curve أو مـــا يعـــادل R=572.96m) يعرض المركبة إلى تأثير القوة الطاردة المركزية (Centrifugal Force) مما يسبب إزعاجاً للمسافرين أو انقلاب المركبة إذا لم تؤخذ الضوابط الكافية مـــن حيـــث سرعة المركبة وميل مقطع الطريق العرضاني كما سنرى فيما بعد . من هنا يتبين لنا فائدة استخدام المنحنيات المتدرجة التي من شأنها ضمان الانتقال التدريجي عند نقاط التماس من الأجزاء المستقيمة ذوات درجات الانحناء المعدومة أو أنصاف الأقطار اللامتناهية في الكبر إلى أجزاء منحنية بدرجات انحناء أو أنصاف أقطار محدودة .

كذلك تسمح المنحنيات المتدرجة بالانتقال التدريجي من مقـــاطع عرضيـــة ذوات ميول عرضانية ثابتة ومنتظمة على الجـــانبين (Crowned Cross-Sections) للأجـــزاء المستقيمة من المشروع إلى مقاطع عرضية معـــلاّة (Superelevated Cross-Sections) على كامل الأجزاء المنحنية مما يسمح بمقاومة تأثير القوة الطاردة المركزية على المركبـــة، الشكل (11-15) .

11-2-2-2 أنواع المنحنيات المتدرجة :

أ - القطع المكافيء المكعبي Cubic Parabola أو القطع المكافيء من الدرجة الثالثـــة ، شكل (11-16) ، ومعادلته :

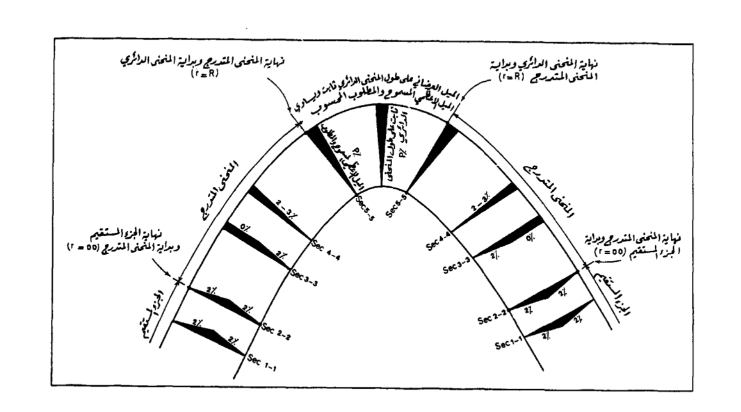
$$Y = X^3 / (6RL) \qquad (20-11)$$

حيث X,Y ترمز إلى إحداثيات نقاط القطع المكافيء المكعبي .

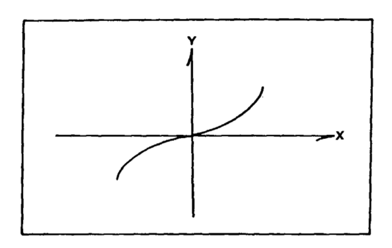
R مقدار نصف قطر .

L طول المنحنى المتدرج.

وسنورد فيما بعد مزيداً من التفصيل حول هذا المنحنى الذي يغلـــب استعماله في مشاريع خطوط السكك الحديدية .



شكل 11 - 15 التغير التدريجي في الميل العرضاني لمقاومة تأثير القوة الطاردة المركزية



شكل 11 - 16 المنحنى المكافىء المكعبي

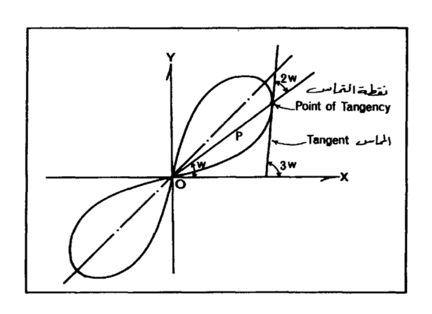
ب - ليمنسكات برنولي أو المنحنى البيضوي Lemniscate الشكل (11-17) ومعادلتـــــه بالإحداثيات القطبية على الشكل التالي :

$$\rho z = k^2 \sin 2\omega \qquad (21-11)$$

حيث (ρ) هي نصف القطر الشعاعي أو القطبي (الصادر من قطب المنحنى0) أمّـــا (ω) فهي الزاوية القطبية المحصورة بين نصف القطر القطبي ومحور السينات، ونذكر هنا أن مميزات هذا المنحنى كون الزاوية المحصورة بين المماس في أي نقطـــة علــى المنحنى ونصف القطر القطبي تساوي ضعف الزاوية القطبية (ω) وعليـــه تكـــون الزاوية المحصورة بين نفس المماس ومحور السينات مساوية 3ω . كما أن من صفات هذا المنحنى أنه مغلق وله محور تناظر وأن نصف قطره يبلغ قيمة عظيمة عند النقطة التي يكون فيها المحور القطبي(ρ) مائلاً بمقدار 45° فإذا ما عرف نصف القطـــر π ومقدار الزاوية ω أمكن حساب جميــع عناصر الليمنســـكات وعليــه يفضـــل استعماله في الأراضي الوعرة وحيث يصعب تحديد النقاط باستخدام الإحداثيـــات العادية (X,Y Coordinate) وعلى أي الأحوال يغلب استعماله في مشاريع الطرق.

جـ- الكلوتوئيد (Clothoide) :

ويطلق عليه أيضاً اسم حلزون كوريز ، ذلك المستخدم في دراسة حوادث الانتشار في مادة الفيزياء وهذا المنحنى هو للمفضل من وجهة النظر الرياضية حيث يحقـــق



شكل 11-17 المنحنى البيضوي (لينمسكات برنولي)

ميزات ديناميكية وهندسية مهمّة في المنعطفات كما يستعمل بكثرة في مشـــاريع خطوط السكك الحديدية فهو يبدأ بنصف قطر يساوي اللانهاية وينتهي بنصف قطر أصغر هو في الغالب نصف قطر المنحنى الدائري المراد وصله بالمستقيم أما للمعادلـــة الأساسية لهذا المنحنى فيمكن كتابتها على الشكل :

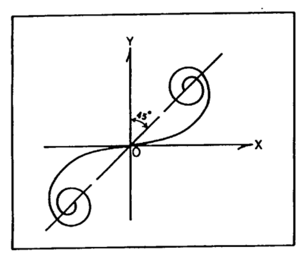
$$C = R.L \quad \text{.....(22-11)}$$

حيث : C ثابت معين

R نصف القطر

L طول منحنى الكلوتوئيد

فيما يتعلق بالشكل العام لهذا المنحنى فهو حلزون مضاعف بالنسبة للمبدأ لاحـــظ الشكل (11-18) .



الشكل 11-18 منحنى الكلوتوئيد

11-2-2-3 مفهوم القوة الطاردة المركزية :

سبق أن تكلمنا عن وصل الأجزاء المستقيمة مباشرة بمنحنيات دائرية بسيطة والآن دعنا نحلل مخاطر ذلك وسبل حلها.

لنتصور عربة تسير على جزء مستقيم من طريق نصف قطره بالطبع ما لا نهايـــة ثم فجأة تدخل ضمن جزء من الطريق على شكل منحن دائري ذي نصـــف قطـــر ثـــابت ومحدد. ما الذي يحدث ؟

في الحالة الأولى (نصف القطر ما لانهاية) تنعدم تقريبا القوة الطاردة المركزيـــة وفي الحالة الثانية تتعرض العربة إلى قوة طاردة مركزية تؤثر بشكل يتعامد مع محور الـــدوران الذي هو في الواقع خط وهمي ورأسي مار بمركز المنحنى الدائري ومن هنا سيكون اتجـــاه هذه القوة الطاردة أفقيا ، وحيث أن الانتقال من الجزء المستقيم إلى الجزء المنحني كـــان فجائيا فلابد أيضا أن تتعرض العربة لحظة دخولها الجزء الدائري إلى القوة الطاردة المركزية بشكل مفاجىء والتي كما ذكرنا قد تؤدي في بعض الأحيان إلى قلب العربة وكل ذلك بالطبع يعود إلى التغير الفجائي في نصف القطر أي من ∞ (الجزء المستقيم) إلى R (الجزء الدائري).

دعنا نرمز للقوة الطاردة المركزية المؤثرة على العربة أثناء سيرها على المنحنى الدائري بـ w ولكتلة العربة بـ M ولسرعة العربة بـ V وبـ R لنصف قطر المنحنى الدائري وأخيرا بـ g للتسارع الأرضي، عندها تكون العلاقة التي تربطها جميعا على الشكل :

$$P = \frac{WV^2}{g^R} = \frac{MV^2}{R} \ldots\ldots (23-11)$$

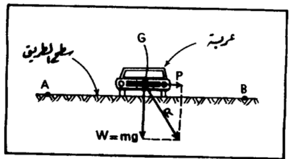
أي أن القوة الطاردة المركزية تتناسب عكسيا مع نصف قطر المنحنى وعندما تكون العربة على الجزء المستقيم من الطريق يكون R ما لانهاية (Infinity) وبالتالي القوة الطاردة P صفرا . لحظة دخولها المنحنى الدائري يكون لـ R قيمة ثابتة معينة تستمر حتى نهاية المنحنى وبالتالي يكون هناك قوة طاردة مؤثرة وثابتة طالما ثبت السرعة ، ومتغيرة طالما تغيرت السرعة (لاحظ أن التسارع الأرضي g ، وزن العربة w ونصف القطر R كلها ثوابت) ولمنع قفر القوة الطاردة المركزية من قيمة صغرى (صفر) إلى قيمة عظمى بشكل فجائي نلجأ إلى المنحنيات المتدرجة لتشكل حلقة وصل بين الجزء المنحني الدائري والجزء المستقيم وبالتالي تعمل على امتصاص أو تلقي القوة الطاردة بشكل تدريجي حيث ستسير العربة أولا على الجزء المستقيم ذي نصف القطر اللانهائي دون أي تأثير للقوة الطاردة ثم تدخل المنحني المتدرج فتبدأ بتلقي قوة طاردة مركزية قيمتها الإبتدائية صفر ومتزايدة بشكل منتظم وتدريجي(مع بقاء السرعة ثابتة) نتيجة لتغير نصف القطر إلى قيم أصغر فأصغر إلى أن تصل إلى مدخل منحن دائري آخر محدد وثابت القطر فتثبت عندها القوة الطاردة وتبقى على حالها حتى نهاية المنحني الدائري فإذا ما دخلت العربة الآن منحنى متدرج ثان يصل المنحنى الدائري بالجزء المستقيم الآخر بدأت العربة بتلقي قوة طاردة مركزية مبتدئة بالقيمة الثابتة لها على طول الجزء الدائري ومتناقصة تدريجيا (مع بقاء السرعة ثابتة) نتيجة لتزايد نصف القطر إلى قيم أكبر فأكبر إلى أن تصل إلى الجزء المستقيم فتتلاشى القوة الطاردة المركزية نتيجة لبلوغ نصف القطر قيمة عظمى مقدارها اللانهاية ، وفي أحيان كثيرة تصمم المنعطفات الأفقية بحيث تنتقل العربة من منحنى متدرج إلى آخر متدرج دون مرور بمنحنى دائري وهنا لا نجد فرقا من حيث

مبدأ تلقي القوة الطاردة سوى أنها تبدأ بالتناقص التدريجي مباشرة بعد بلوغـــها قيمتـــها العظمى عند نهاية المنحنى المتدرج الأول إذ يكون طول المنحنى الدائري هنا بمثابة الصفر .

مما سبق نستطيع القول إن إدخال المنحنيات المتدرجة في تصميم المنعطفات يجنـــب الانزلاق والانقلاب ناهيك عن إسهامها في راحة المسافرين.

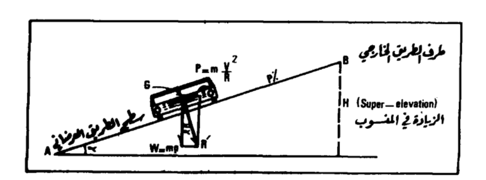
4-2-2-11 زيادة الميل العرضي في المنعطفات Cant or Super-elevation :

من الواضح أن القوة الوحيدة المؤثرة على عربة تسير على خط مستقيم ومستو هي وزنها فقط وإذا ما بدأت هذه العربة السير على منعطف أفقي تعرضت كما ذكرنـــا إلى قوة أخرى هي القوة الطاردة المركزية . في الشكل (11-19) إذا مثلنا المقطـــع العرضـــي لجزء مستو ومنعطف (ضمن منعطف أفقي) بالخط AB و بـــ G لمركز ثقل العربة فـــإن كلا من القوة الطاردة المركزية ووزن العربة سيؤثران في مركز الثقل للعربة ويكون شعاع القوة الممثل لوزن العربة w متعامدا مع سطح الطريق المستوى أما شعاع القـــوة الممثـــل للقوة الطاردة المركزية فيكون بشكل متعامد على خط سير العربة أي مواز تقريبا لسطح الطريق باتجاه العرض . وعليه فإن محصلة القوتين (R) (Rwsultant) سوف لن تكـــون متعامدة على سطح الطريق وبالتالي تكون العربة عرضة للتأثر بأي قوة أفقية وقد يصـــل هذا التأثير إلى حد الإنزلاق . لعلاج ذلك نعطي لسطح الطريق ميلا عرضانيا تصبح معه المحصلة R مساوية ومعاكسة في الاتجاه لرد الفعل العمودي على سطح الطريق، الشكـــل (11-20).



شكل 11 - 19

أما قيمة هذا الميل العرضاني فيتراوح بين 4% إلى 9% (حسب الأنظمة المعمـــول بها في مختلف الدول) أي أكبر من الميل العرضاني المخصص لغايات تصريف مياه ســـطح الطريق الذي هو بحدود 2% ويطلق على زيادة المنسوب الحاصلة لطرف الطريق الخارجي نتيجة لزيادة الميل العرضاني بـــ Super-elevation or Cant لاحظ الشكل (11-20).



الشكل 11 - 20

بملاحظة الشكل (11-20) يمكن كتابة العلاقات التالية :

$$\tan\alpha = P_1 = (mv^2 / r) / (mg) = v^2 / (gr) \qquad (24-11)$$

حيث ترمز r إلى نصف قطر المنحني المتدرج في إحدى نقاطه وترمز P_1 إلى الميل العرضاني لسطح الطريق ضمن الجزء الخاص بالمنحنى المتدرج وترمز α إلى الزاوية الرأسية وبمـــا أن التسارع الأرضي هو ثابت ضمن منطقة صغيرة إذن لنرمز للمقدار 1/g بـــ C فتصبـــح المعادلة (11-24) على الشكل :

$$P_1 = C.V^2/r$$
$$C = (P_1)(r)/V^2 \qquad (25-11)$$

وحيث أن قيمة الثابت c لا تتغير بتغير نوع المنحنى من متدرج إلى دائري أو العكس لذا فإنه مع بقاء السرعة ثابتة وتغير نصف القطر من r في المنحنى المتدرج إلى R من المنحـــنى الدائري فإنه قيمة الميل العرضاني P من المنحنى الدائري تساوي :

$$P = C.V^2/R$$
$$C = (P)(R)/V^2 \qquad (26-11)$$

وبمساواة المعادلتين (11-25) و(11-26) ، يصبح :

$$(P)(R)/V^2 = (P_1)(r)/V^2$$

$$P_1 = (P)(R)/r \quad \text{.......................}(27\text{-}11)$$

وهذه هي العلاقة التي تعطي الميل العرضي لسطح الطريق في المنحنى المتدرج بدلالة الميل العرضاني لسطح الطريق في المنحنى الدائري وبدلالة نصفي القطرين ومن هذه العلاقة تلاحظ أو الميل مستقل عن السرعة V وأنه يتغير بتغير نصف القطر من نقطة لأخرى على طول المنحنى المتدرج .

نأتي الآن إلى حساب مقدار زيادة المنسوب (H) في الطرف الخارجي للطريق

فنلاحظ من الشكل (11-20) : $\text{Sin} \quad \alpha = \dfrac{H}{b}$

وعليه فإن زيادة المنسوب تساوي :

$$\text{Super - elevation} = H = (b)(\sin \alpha) \quad \text{.......................}(28\text{-}11)$$

حيث ترمز b إلى عرض الطريق أو خط السكة الحديدية وبملاحظة تساوي الجيب مع الظل للزوايا الصغيرة أي أن:

$$\text{Sin} \ \ \alpha = \tan \ \ \alpha$$

لذا تصبح العلاقة (11-28) على الشكل :

$$H = b. \tan \ \ \alpha$$

لكن :

$$\tan \alpha = P_1 = \frac{c.v^2}{r}$$

وعليه :

$$H = b.P_1 = \frac{b.c.v^2}{r} \quad \text{.......................}(29-11)$$

وبملاحظة هذه العلاقة نرى أن كلا من b, c ثابت وبالتالي فلدينا ثلاثة مجاهيل هي P_1, r, V

وبمعرفة اثنين منها نستنتج المجهول الثالث حيث أن :

$$P_1 = \frac{c.v^2}{r}$$

بالنسبة للسرعة v فهذه يحددها المهندس المصمم ويتبع هذا نوع الطريق أو سكة الحديد وكثافة السير وأمور فنية أخرى أما نصف القطر r فهو متغير وبشكل متدرج على طول المنحنى المتدرج وبالتالي فلابد أن تكون قيمة زيادة المنسوب Super- Elevation أيضا متغيرة ومتزايدة وبشكل متدرج ومتناسب مع تغيرات نصف القطر على طول المنحنى

المتدرج فتبدأ بالمقدار صفر حيث r تساوي اللانهاية عند نقطة تماس الجزء المستقيم بالمنحنى المتدرج وبالتالي :

$$H = \frac{b.c.v^2}{r} = \frac{b.c.v^2}{\infty} = Zero$$

ثم تتزايد مع تزايد نقصان مقدار نصف القطر إلى أن تصل إلى قيمة عظمى عنـــد تمـــاس المنحنى المتدرج مع المنحنى الدائري (أو مع منحنى متدرج آخر) حيث يصبح مقدار نصف القطر صغيرا وثابتا على طول المنحنى الدائري وبالتالي تصبح الزيادة في المنسوب، كبـــيرة وتعطى بالعلاقة :

$$H = \frac{b.c.v^2}{R}$$

وإذا رمزنا بـــ k لـــbc حيث كل منها ثابت يصبح لدينا :

$$H = \frac{k.v^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (30-11)$$

أي أنه إذا ما تحدد نصف القطر R للمنحنى الدائري وهذا مرتبط بطبوغرافية المنطقة الـــتي يقع فيها المنحنى وكذلك بنوع الطريق وكثافة السير وكذلك السير وكذلك إذا ما تحددت سرعة العربة في المنعطفات فيمكن حساب زيادة المنسوب في طرف الطريـــق الخـــارجي وعلى طول المنحنى الدائري بتطبيق العلاقة (11-30).

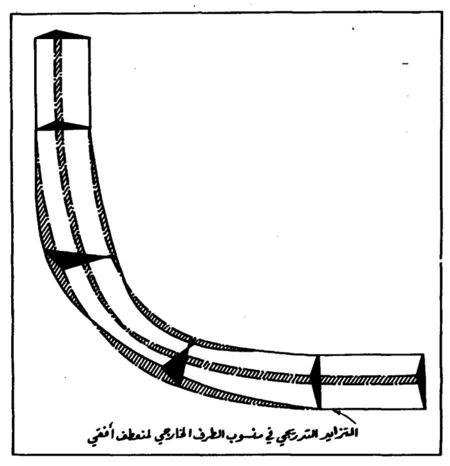
مما سبق يتضح أن المنحنى الدائري لا يسمح بزيادة المنسوب بشكل تدريجي علـــى الطرف الخارجي لسطح الطريق وبالتالي يترتب على ذلك أن ننتقل من منســـوب معـــين للطرف الخارجي للطريق عند نقطة التماس بين الجزء المستقيم والجزء المنحنـــى الدائـــري إلى منسوب أعلى في نفس نقطة التماس ، ذلك أن زيادة المنسوب عند نقطة التماس يمكن حسابها على أساس نصف قطر المستقيم وهو لا نهايـــة وبالتالي تساوي الصفـــر وعلـــى أساس نصف قطر المنحنى الدائري R وهو قيمة ثابتة محدودة وبالتالي فإن زيادة المنســـوب هنا تساوي قيمة غير الصفر فكيف يصح إذن أن يزداد المنسوب فجأة في نفس النقطـــة؟ بالطبع لا يتم ذلك عمليا ويكون العلاج كما ذكرنا باستخدام منحنيات الوصل المتدرجة التي تبتـــدي بزيادة في المنسوب تساوي الصفر وتتدرج في التزايد بشكل يتناســـب مـــع البعد عن بداية المنحنى المتدرج حتى تصل قيمة عظمى هي قيمة تزايـــــد المنســـوب في

المنحنى الدائري فتثبت عليها على طول المنحنى الدائري ثم تعود فتتناقص تدريجيا على طول المنحنى المتدرج الثاني إلى أن تصبح هذه الزيادة صفرا عند نقطة تماس المنحنى المتدرج مع التماس الثاني لاحظ الأشكال (11-15) و (11-21) .

ملحوظات :

- من الواضح أن العلاقة الرياضية التي تعطي مقدار الميل العرضاني (أي : $P= CV^2/R$) تحتوي على ثلاثة متغيرات Three Variables وبالتالي فإنه باقتراح أو بتحديد قيم إثنين منـــها يمكن استنتاج قيمة المتغير الثالث . في حالات مشاريع السكك الحديدية، تكون عادة السرعة V السرعة القصوى الممكنة (Maximum Probable Speed) التي يمكن أن يسير بها القطار على خط معين محددة ومعروفة تماما . وفي مشاريع الطرق تكـــون أيضا قيمة متوسط السرعة المصممة (Design Average Speed) معروفة . وبالنســـبة لنصف القطر R فيجري عادة تحديد مقداره استنادا إلى المعطيات الطبوغرافية وتوافـــر الأرض (اتساع شريط الأرض المستملك لمشروع الطريق أو سكة الحديد). وبهذا بعـــد تحديد مقدار كل من السرعة V ونصف القطرR يسهل استنتاج مقدار الميل العرضـــاني ومن ثم مقدار التعلية الجانبية (Cant) .

- في مشاريع السكك الحديدية ، لا يسمح عادة بأن تتجاوز التعليـــة الجانبيـــة المقـــدار 150mm كي لا تسبب هذا في عدم استقرار العربات خفيفة الأحمال خصوصا عندمـــا تكون السرعة منخفضة والريح قوية وباعثة على إخلال توازن هذه العربات. بـــالطبع يمكن أن تكون هناك حاجة لزيادة التعلية عن المقدار 150mm في ظل قيم محددة للسرعة ونصف القطر ولكن مهما يكن لا يجب المغامرة في زيادة التعلية بل لابد ، بـــدلا مـــن ذلك، من زيادة نصف القطر للتقليل من مقدار التعلية بحيث تقل عـــن 150mm فـــإن تعذر هذا وأصبح مستحيلا نلجأ عندها كحل أخير إلى تحديد سرعة العربة بحيث تسمح بعدم تجاوز التعلية للمقدار 150mm .



شكل 11 -21 زيادة المنسوب بشكل تدريجي لمنعطف أفقي

- من الطبيعي أن لا يكون هناك تعلية جانبية في الأجزاء المستقيمة (حافتا المسار لهما نفس المنسوب) من المسار بينما في الأجزاء المنحنية منه (المنحنيات الأفقية) نحتاج إلى تعلية الحافة الخارجية للمسار بالمقدار الوارد في إحدى العلاقات الرياضية الواردة سابقا. إن مقدار التعلية هذه يعتمد على سرعة العربة وعلى نصف قطر المنحنى ذي العلاقة . وهنا نلاحظ أن نقطة التماس بين الجزء المستقيم والجزء المنحني الذي يليه مباشرة تنطبق عليها شروط الجزء المستقيم (لا حاجة لتعلية جانبية) في آن واحد وهذا غير قابل للتطبيق عمليا . من أجل ذلك لابد من إدخال منحنى تدريجي (Spiral Easement or Transition Curve) بين الجزء المستقيم والجزء المنحنى الدائري كي يسمح بتعلية جانبية تدريجية للطرف الخارجي للمسار تبدأ بقيمة مساوية للصفر عند

نقطة التماس بين الجزء المستقيم والمنحني للتدرج (أي TS) وتنتهي بالمقدار المحسوب وفق إحدى المعادلات المذكورة سابقا عند نقطة تماس للمنحنى المتدرج مع المنحنى الدائري (أي SC)، الشكل (11-15) . بعد ذلك يبقى مقدار التعلية الجانبية ثابتا على طول المنحنى الدائري ولغاية نقطة تماس هذا المنحنى الدائري مع للمنحنى المتدرج من الجهة الأخرى (أي الجهة اليمنى عند CS). ينطبق هذا الأمر تماما على وضع المنحنى المتدرج الأيمن والمماس الأمامي .

11-2-2-5 اشتقاق معادلات المنحنى المتدرج [م1] [م7] [م8] [م10] [م20] [م25] (Derivation of Transition Curve Equations) [م26] [م38] [م52]

أ – مقدمة

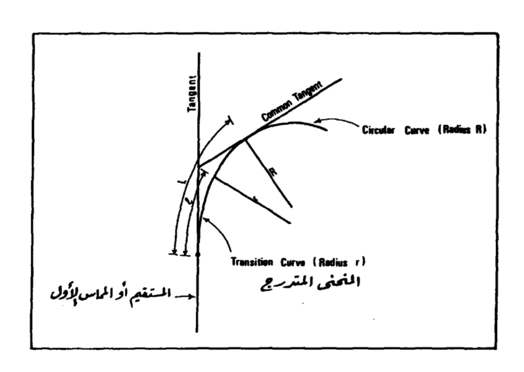
تبين لنا من خلال مناقشة موضوع القوة الطاردة المركزية وزيادة المنسوب في الطرف الخارجي للمنعطفات الأفقية ما يلي :

- تزايد القوة الطاردة المركزية P كلما ابتعدت العربة عن نقطة تماس للمستقيم مع المنحنى المتدرج فإذا رمزنا ب ℓ للمسافة المقطوعة من العربة بدءا من نقطة التماس هذه فإن P تتناسب مع ℓ ($P \propto \ell$) لشكل (11-22) .
- في كل نقطة من نقاط المنحنى المتدرج يكون نصف القطر ذو قيمة r متميزة عن قيم أنصاف الأقطار للنقاط الأخرى من المنحنى وهذا عائد بالطبع لكون نصف قطر المنحنى المتدرج متغيرا على طول المنحنى وبالتالي فإن قيمة القوة الطاردة المركزية تختلف بين نقطة وأخرى على المنحنى فإذا اعتبرنا نقطة ما من المنحنى المتدرج ذات نصف قطر r كانت عندها القوة الطاردة المركزية معطاة بالعلاقة $P = mV^2/r$ وحيث أن كتلة السيارة m ثابتة (الوزن ثابت والتسارع الأرضي g ثابت تقريبا) إذن تكون القوة الطاردة متناسبة عكسيا مع نصف القطر بثبات السرعة V .

أي أن $P \propto \frac{1}{r}$

ولكن $P \propto \ell$

إذن $l \propto \frac{1}{r}$



الشكل 11 - 22

أي عند نقطة معينة من المنحنى المتدرج تكون المسافة المقطوعة بدءا من نقطة تماس المستقيم مع المنحنى المتدرج متناسبة عكسيا مع مقدار نصف القطر في تلك النقطة .

- قيمة الزيادة في المنسوب Super-elevation المعطي للطرف الخارجي لمنعطف أفقي تتزايد باستمرار كلما ابتعدنا عن نقطة تماس الجزء المستقيم مع المنحنى المتدرج وهذا واضح لكون نصف القطر يتناقص بعيدا عن نقطة التماس ولجعل هذا التزايد في المنسوب تدريجيا ومستمرا دون انقطاع أي لجعل هذا التزايد وفق معدل منتظم فإننا نوزع هذه الزيادة على طول المنحنى بحيث تبدأ بالصفر وتتزايد وفق تزايد المسافة ℓ وعليه فإن التزايد في المنسوب يتناسب بشكل طردي ومباشر مع المسافة ℓ وإن تزايد المسافة ℓ هو بنفس معدل تناقص نصف القطر r بحيث يكون المقدار r ثابتا على طول المنحنى المتدرج فإذا رمزنا للثابت بـ k يمكننا العلاقة التالية : $\ell r = k$.

وعند نهاية للمنحنى المتدرج حيث تكون المسافة المقطوعة بدءا من نقطة التماس مساوية لـ L (أي طول للمنحنى المتدرج بكامله) ونصف القطر مساو لـ R (R نصف قطر المنحنى الدائري) تكون العلاقة أعلاه على الشكل :

$\ell r = LR = K$ .... (31-11)

ب – طول المنحنى المتدرج (Length of Transition Curve) :

لتحديد طول المنحنى المتدرج يمكن إتباع إحدى الطرق التالية :

1 – بأن تحسب القيمة العظمى للزيادة في المنسوب Super-elevation من العلاقة $H=b.\tan\alpha$ ثم نوزع هذه الزيادة تدريجيا على طول المنحنى المتدرج بحيث يخصص لكل 10m من طول المنحنى مقدار معين من هذه الزيادة كأن يخصص 1cm لكل 10m وعليه إذا فرضنا أن القيمة العظمى للزيادة في المنسوب تساوي 15cm فيكون طول المنحنى المتدرج اللازم يساوي :

$$\frac{15cm}{1cm} \times 10m = 150m$$

أي عمليا يجري زيادة المنسوب بمقدار 1cm وبشكل متدرج على طول كل 10 من طول المنحنى المتدرج وباتجاه المنحنى الدائري .

2 – بأن يقترن طول المنحنى المتدرج بمعدل التغير في التسارع القطري Radial Acceleration وهنا إذا رمزنا لطول المنحنى المتدرج بـL و بـR لنصف قطر المنحنى الدائري المتصل بالمنحنى المتدرج وبـ V لسرعة العربة فإن مقدار التسارع القطري عند نقطة تماس المستقيم مع المنحنى المتدرج مع الدائري مساويا V^2/R وعليه فإن زيادة التسارع القطري من صفر في بداية المنحنى المتدرج إلى V^2/R عند نهايته تكون قد تمت خلال الفترة الزمنية التي استغرقتها العربة في قطع المنحنى المتدرج ولتكن هذه الفترة مساوية لـ: $L/V = t$ وعليه يكون معدل التغير في التسارع القطري a مساويا :

$$a = (V^2/R) \; / \; (L/V) = V^3/(L.R)$$

$L = V^3/(a.R)$ ....(32-11)

وعليه إذا تم تحديد قيمة a فإنه بمعرفة نصف قطر المنحنى الدائري وسرعة العربة يسهل حساب طول المنحنى المتدرج .

3 - بأن يؤخذ طول مساو لقيمة مناسبة 50m or 100m 150m استئناسا بتجارب وخبرات سابقة وهنا بالطبع يستلزم الأمر توزيع الزيادة في المنسوب على هذا الطول المفروض بشكل تدريجي ومنتظم .

4 - بأن تحدد القيمة العظمى للزيادة في المنسوب H على الطرف الخارجي ثم يحدد الميل المراد اعطاؤها لسطح الطريق وعلى كامل المنحنى المتدرج وبالتالي لابد أن يكون هذا الميل مضروبا في طول المنحنى المتدرج مساويا للقيمة العظمي والمحسوبة للزيادة في المنسوب فلو افترضنا أننا نريد تطبيق الزيادة في المنسوب H على أساس (1/200) فهذا يعني

أن :

$$\frac{1}{200} \times L = H$$

أي أن :

$$L = 200\,H$$

5 - بأن نفترض سرعة التصميم V ونحسب القيمة العظمى للزيادة في المنسوب ونوزعها على الزمن المستغرق في قطع مسافة المنحنى المتدرج ذي الطول L .

فإذا افترضنا أن الزمن يساوي t (sec) والقيمة العظمى للزيادة في المنسوب H عندها يمكننا كتابة العلاقات التالية :

$$t = \frac{L}{V}\ \text{seconds}$$

وعليه تكون قيمة الزيادة المخصصة لوحدة الزمن تساوي a وتساوي :

$$\frac{H}{t} = a$$

$$\frac{H}{L/V} = a$$

$$a = \frac{V.H}{L} \qquad \text{.......................................}(33-11)$$

الآن لدينا مجولان (بافتراض أن السرعة والزيادة في المنسوب معلومتان) هما a,L فإذا حددنا سلفا الزيادة في المنسوب في وحدة الزمن (a) أمكننا عندها حساب

المجهول L (طول المنحنى المتدرج) من العلاقة : L = VH/a وعمليا تختار قيمة لـ a تتراوح بين 2 cm - 5 cm per second .

جـ- اشتقاق المعادلات :

بمساعدة الشكل (23-11) يمكننا تصور نقطة ما x على المنحنى المتدرج وتبعد مسافة قدرها ℓ عن نقطة التماس To مقيسة وفق المنحنى ومن ثم كتابة المعادلات التالية :

$$d\ell = r\,d\Phi$$

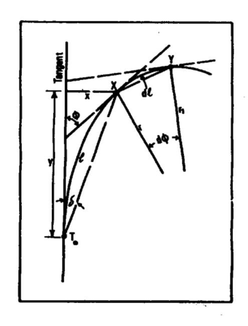
لكن : $r \times \ell = k$ ، وعليه :

$$r = \frac{k}{\ell}$$

وبالتالي :

$$d\ell = \frac{k}{\ell}\,d\Phi, \quad d\Phi = \frac{\ell}{k}\,d\ell$$

$$\int d\Phi = \int \frac{\ell}{k}\,d\ell \quad , \Phi = \frac{\ell^2}{2k} + c$$



الشكل 11 - 23

ولتعيين قيمة ثابت التكامل C فيكفي أن نعوض عن قيم Φ, ℓ في نقطة التمـــــاس الأولى To حيث هنا $\Phi = 0$, $\ell = 0$ وبالتالي :

$$Zero = \frac{0}{2k} + c \quad \rightarrow c = 0$$

وعليه

$$\Phi = \frac{\ell^2}{2k} \quad \text{......(34-11)}$$

وكما ذكرنا فإن الثابت k يساوي ℓ r ويساوي أيضا LR

وعليه :

$$\Phi = \frac{\ell^2}{2\,\ell r} = \frac{\ell^2}{2LR} \quad \text{......(35-11)}$$

إن المعادلة : $\Phi = \ell^2/2LR$ هي المعادلة الأصلية للمنحنى للتدرج الحلزوني المثالي (Ideal Transition Spiral or Clothoid Spiral) الذي يغلب تطبيقه هذه الأيام ويفضل على الأنواع الأخرى من المنحنيات المتدرجة، الآن وبملاحظة الشكل (11-24) إذا لاحظنـــــا تزايدا قوسيا XY مقداره $d\ell$ من المنحنى للتدرج بشكل زاوية مركزية قدرها $d\Phi$ فإن هذا التزايد القوسي يساوي تقريبا التزايد الوتري وبتحليل التزايد الوتـــــري $d\ell$ إلى مركبتيـــه الأفقية dx والرأسية dy وملاحظة أن الزاوية الواقعة بين المماس في النقطة x والوتر الصغير $d\ell$ – نصف الزاوية المركزية المنشأة عليه أي تساوي $d\Phi/2$ فإننا نستطيع كتابة ما يلي:

$$\beta = \Phi + \frac{d\Phi}{2}$$

$$dx = d\ell \cos\alpha = d\ell \quad \sin\beta$$

$$dy = d\ell \sin\alpha = d\ell \quad \cos\beta$$

ومنه :

$$dx = d\ell.\sin \quad (\Phi + \frac{d\Phi}{2})$$

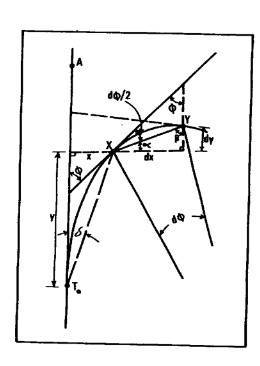
$$dy = d\ell.\cos \quad (\Phi + \frac{d\Phi}{2})$$

وبإهمال التزايد الزاوي $d\,\Phi$ نتيجة صغره بالمقارنة بـــ Φ نكتب :–

$$dx = d\ell \text{ Sin } \Phi, \quad dy = d\ell \text{ Cos } \Phi$$

وباستخدام أحد قوانين نشر التوابع Expansion of Functions وعلى سبيل المثال قانون ماكلوران Max Laurin's Series

$$f(x) = f(o) + \frac{f'(o)}{1!}x + \frac{f''(o)}{2!}x^2 + \frac{f'''(o)}{3!}x^3 + ... \frac{f^n(o)}{n!} .... (36-11)$$



شكل 11 - 24

دعنا ننشر الآن التابعين Sin Φ , Cos Φ وعلى الشكل التالي :

$f(x)\ Sin\ \Phi$

$f(o)\ Sin\ (o) = o$

$f'(o) = Cos(o) = 1$

$f''(o) = -Sin(o) = o$

$f'''(o) = -Cos(o) = -1$

$f(x) = Cos\ \Phi$

$f(o) = Cos(o) = 1$

$f'(o) = -Sin\ (o) = o$

$f''(o) = -Cos\ (o) = -1$

$f'''(o) = Sin(o) = o$

وعليه فإنه بالتعويض عن قيم f(x)=f(o), f' (o),..etc مـــن قـــانون النشـــر .... +

f(x)=f(o),(f'(o)/1!) x.. وإدخـــال قيمـــة Φ بـــدل x يصبـــح لدينـــا

$$Cos\,\Phi = 1 - \frac{\Phi^2}{2!} + \frac{\Phi^4}{4!} - \frac{\Phi^6}{6!} + \frac{\Phi^8}{8!} - .... (37-11)$$

$$\text{Sin}\,\Phi = \Phi - \frac{\Phi^3}{3!} + \frac{\Phi^5}{5!} - \frac{\Phi^7}{7!} + \dots\dots(38-11)$$

الآن نعرض عن القيم $\text{Sin}\,\Phi$,$\text{Cos}\,\Phi$ في معادلتي dx , dy فينتج :

$$dx = d\ell\,\text{Sin}\,\Phi = d\ell\,(\Phi - \frac{\Phi^3}{3!} + \frac{\Phi^5}{5!} - \frac{\Phi^7}{7!} + \dots)\dots\dots(39-11)$$

$$dy = d\ell\,\text{Cos}\,\Phi = d\ell\,(1 - \frac{\Phi^2}{2!} + \frac{\Phi^4}{4!} - \frac{\Phi^6}{6!} + \dots)\dots\dots(40-11)$$

وبالتعويض عن قيمة Φ بــ $\ell^2/2k$ ينتج :

$$dx = d\ell\,[\frac{\ell^2}{2k} - (\frac{\ell^2}{2k})^3\,(\frac{1}{6}) + (\frac{\ell^2}{2k})^5\,(\frac{1}{120}) + \dots\dots]\quad(41-11)$$

$$dy = d\ell\,[1 - (\frac{\ell^2}{2k})^2\,(\frac{1}{2}) + (\frac{\ell^2}{2k})^4(\frac{1}{24}) - (\frac{\ell^2}{2k})^6\,(\frac{1}{120}) + \dots\dots]\quad(42-11)$$

وبالتكامل ينتج لدينا :

$$\int dx = \int [\frac{\ell^2}{2k} - (\frac{\ell^2}{2k})^3\,(\frac{1}{6}) + (\frac{\ell^2}{2k})^5\,(\frac{1}{120}) + \dots]d\ell$$

$$x = \frac{\ell^3}{6k} - \frac{\ell^7}{336k^3} + \frac{\ell^{11}}{42240k^5} + \dots\text{negligible terms}\dots\dots(43-11)$$

وبنفس الأسلوب نستنتج قيمة y :

$$y = \ell - \frac{\ell^5}{40k^2} + \frac{\ell^9}{3456k^4} + \dots\text{negligible terms}\dots\dots(44-11)$$

بملاحظة أن ثابت التكامل C يساوي صفراً حيث عند نقطة تماس المنحنى المتدرج مــــع المستقيم تكون Φ= 0 باعتبار أن $\ell = 0$ وعندما يكون الثابت k والمساوي لــLR كبــيراً جداً فيمكن كتابة المعادلتين (11-43) ,(11-44) على الشكل التالي :

$$x = \frac{\ell^3}{6k}\dots\dots(45-11)$$

$$y = \ell\dots\dots(46-11)$$

ولكن : $k = LR$

إذن :

$$x = \frac{\ell^3}{6LR}\dots\dots(47-11)$$

وهذه الأخيرة هي معادلة للمنحنى الحلزوني المكعبي Cubic Spiral وإذا عوضنا عن ℓ بــy في المعادلة (11-47) ينتج :

$$x = \frac{y^3}{6LR} \quad \text{.......} (48-11)$$

• وهذه هي معادلة المنحنى المكافئ المكعب Cubic Parabola . هنا يتم أخذ طول للمنحنى المتدرج على المماس الأول، الشكل (24-11)،أي على الخط T_oA . والآن بأخذ أي قيمة y على هذا المماس نحسب لها القيمة المقابلة x بتطبيق هذه المعادلة (x = y3/6LR) وبالتالي لتعيين نقطة على المنحنى تبعد مسافة مقدارها y فإننا نقيس بدءاً من نقطة التماس T_o طولاً معادلاً لـــy ومن نهاية هذا الطول نقيم عموداً بطول مقداره x فتكون نقطة نهايـــة هـــذا العمود هي نقطة على المنحنى المتدرج .

إن معادلتي المنحنى الحلزوني المكعبي Cubic Spiral والمنحنى المكــــافئ المكعـــبي Cubic Parabila هما المستخدمتان غالباً في الحياة العمليـــة وتعتـــبران أشكـــالاً معدلــة Modified forms للمنحنى المتدرج أو الكلوتوئيد الحلزوني Transition or Clothoid Spiral .

العلاقة بين δ,Φ

لقد سبق أن وجدنا قيمتي x , y من المعادلتين (43-11), (44-11) .

$$x = \frac{\ell^3}{6k} - \frac{\ell^7}{336\,k^3} + \frac{\ell^{11}}{42240\,k^5} + \text{.......} (49-11)$$

$$y = \ell - \frac{\ell^5}{40\,k^2} + \frac{\ell^9}{3456\,k^4} + \text{.......} (50-11)$$

الآن بمعرفة أن $\Phi = \ell^2/2LR$: وبإدخال Φ في المعادلتين السابقتين على هـــذا الأســـاس ينتج:

$$x = \frac{\ell^3}{6k}(1 - \frac{\Phi^2}{14} + \frac{\Phi^4}{440} + ...) \text{.......} (51-11)$$

$$y = \ell(1 - \frac{\Phi^2}{10} + \frac{\Phi^4}{216} + ...) \text{.......} (52-11)$$

وبالرجوع إلى الشكل (24-11) يمكننا كتابة :

$$\tan\delta = \frac{x}{y} = \frac{\ell^2}{6k} \frac{(1 - \frac{\Phi^2}{14} + \frac{\Phi^4}{440} + ...)}{(1 - \frac{\Phi^2}{10} + \frac{\Phi^4}{216} + ...)} \text{.......} (53-11)$$

نعوض ثانية عن قيمة k بدلالة Φ حيث $\Phi=\ell^2/2k$ فيصبح لدينا :

$$\tan\delta=\frac{\Phi}{3}\left[\frac{(1-\frac{\Phi^2}{14}+\frac{\Phi^4}{440}+...)}{(1-\frac{\Phi^2}{10}+\frac{\Phi^4}{216}+...)}\right]..........(54-11)$$

ويقبل عملياً عندما تكون زوايا الإنحراف صغيرة اعتماد القيمة التالية :

$$\tan\delta=\delta=\frac{\Phi}{3}\text{ radians}..........(55-11)$$

$$\delta=\frac{\Phi}{3}..........(56-11)$$

ملحوظة :

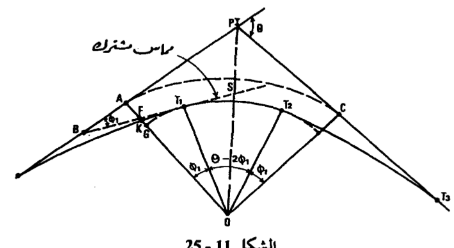
إن القيمة العظمى لـــ Φ تكون عند نقطة تماس المنحنى المتـــدرج مـــع المنحـــنى الدائري أي عندما تكون ℓ مساوية لـــ L ومنه :

$$\Phi=\frac{\ell^2}{2k}=\frac{\ell^2}{2LR}=\frac{L^2}{2LR}=\frac{L}{2R}\text{ radians}..........(57-11)$$

وهي محصورة بين المماس المشترك للمنحنى الدائري والمنحنى المتدرج وبين خط الاستقامة الأولي (المماس الأول أو المماس المشترك بين الجزء المستقيم الأول والمنحنى المتدرج).

مقدار الإزاحة في القوس الدائري Shift:

في استخدامنا للمنحنيات المتدرجة نكون في الواقع قد استبدلنا المنحـــنى الدائـــري الأصلي ذا نصف القطر R (الذي كان من الممكن الاكتفاء به لولا صغر قطـــره مقارنـــة بالسرعة ونوع الطريق) بمنحنيين متدرجين ومنحنى دائري آخر يختلف عن الأصلي. ففي الشكل (25-11) يراد استبدال المنحنى الدائري AC بالمنحنيين المتدرجـــين T_0,T_1,T_2,T_3 وبالمنحنى الدائري T_1, T_2 أي أن المنحنى الدائري الأصلي AC سيزاح بمقدار S باتجـــاه المركز وعليه إذا تقرر أن يكون نصف قطر المنحنى الدائري النهائي (للوصول بـــالمنحنيين المتدرجين)R فيجب أن يكون نصف قطر المنحنى الدائري الأصلي R +S وكذلك نلاحظ من الشكل نفسه أن نقطة التماس الأصلية A قد أزيحت إلى T_0 وبالتالي فإن طول المماس قد تحول من A,P1 إلى T_0,PI وأصبح التماس بين المستقيم والمنحنى المتدرج بدل التماس بين المستقيم والمنحنى الدائري مباشرة :

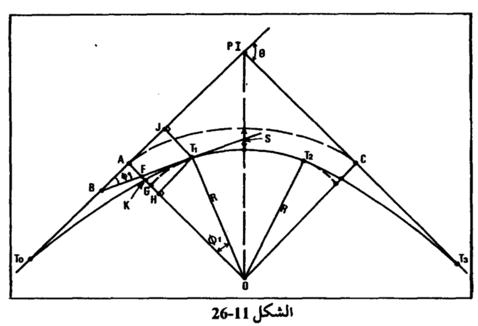


الشكل 11 - 25

من المثلثين OFT_1, BFA لدينا الزاويتان OT_1F, FAB قائمتان (كـــل منـــهما محصورة بين مماس ونصف قطر) والزاويتان OT_1F, FAB متساويتان بالتقابل بالرأس وعليه تكون كلتا الزاويتين AOT_1, COT_2 (متساويتين) مساوية للزاويـــة FAB أي مســـاوية لـــ Φ_1.

ومن الشكل (11-26) لدينا، مع ملاحظة أن JT_1 يمثل طول العمود المقام علـــى المماس من نقطة تبعد بمقدار طول المنحنى المتدرج L واللازم لتعيين نقطة تمـــاس المنحـــنى المتدرج مع المنحنى الدائري وهذا في الواقع يمثل الطول الأعظم للأعمدة الواجب إقامتـــها من المماس لتحديد مجموعة نقاط من المنحنى المتدرج (طريقة المنحنى المكـــافىء المكعـــبي Cubic Parabola) وأن S ترمز إلى مقدار الإزاحة :

$$S = AG = AH - GH = JT_1 - GH$$
$$S = JT_1 - (G0 - H0)$$
$$S = JT_1 - (R - R \text{ cas } \Phi_1)$$



الشكل 11-26

الآن نعوض عن قيم Φ_1 , JT_1

وحيث أن JT_1 وهو كما ذكرنا طول العمود المقام على المماس من نقطة تبعد L (طول المنحنى المتدرج) عن نقطة تماس المنحنى المتدرج من المستقيم أو للمماس الأول إذن نستنتج طول JT_1 بالتعويض عن قيمة ℓ بـــ L في المعادلة (11-47) :

$$x = \frac{\ell^3}{6LR}$$

أي أن :

$$JT_1 = \frac{L^3}{6LR}$$

أما Φ_1 فهي القيمة العظمى لـــ Φ أي الزاوية التي يكونها المماس الأول أو للمستقيم الأول وقد سبق أن اشتقت ووجدت مساوية :

$$\Phi = \frac{L}{2R}$$

وبالنسبة لـــ $\Cos \Phi_1$ فقد سبق وأن أوجدنا قيمتها بالنشر حسب قـــانون مـــاكلوران وكانت مساوية :

$$\cos \Phi_1 = 1 - \frac{\Phi_1^2}{2!} + \frac{\Phi_1}{4!} - \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

وعليه تصبح المعادلة التي تعطي قيمة الإزاحة S على الشكل التالي :

$$S = \frac{L^3}{6LR} - [R - R(\ell - \frac{\Phi_1^2}{21} + \frac{\Phi_1^4}{41} \ldots)]$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - R + R - \frac{R\Phi_1^4}{24}$$

وبإهمال الحدود ذات القوى الأكبر من 2 نظراً لصغر قيمتها ينتج :

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R\Phi_1^2}{2}$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R}{2} \left(\frac{L}{2R}\right)^2$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{R}{2} \left(\frac{L^2}{4R^2}\right)$$

$$S = \frac{L^3}{6LR} - \frac{L^2}{8R} = \frac{L^2}{6R} - \frac{L^2}{8R}$$

$$S = \frac{L^2}{24R} \qquad (58-11)$$

مقدار الإزاحة في نقطة التماس At_0 :

من الشكل (26-11) لدينا الجزء T_1K من المنحنى المتدرج يساوي تقريباً الجزء T_1G من المنحنى الدائري أي أن :

$$T_1k = T_1G$$

ولكن :

$$T_1G = R\,\Phi_1$$

وعليه:

$$T_1k = R\,\Phi_1$$

وبالتعويض عن Φ بـــ $L/2R$ يصبح لدينا :

$$T_1k = \frac{LR}{2R} = \frac{L}{2}$$

أي أن النقطة k تقع تقريباً في منتصف المنحنى المتدرج وحيث أن نصف قطر المنحنى المتدرج يكون عادة كبيراً لذا فإن انحراف المنحنى عن المماس يكون قليلاً وبالتالي يمكن بتقريب جيد اعتبار العلاقة التالية صحيحة :

أي أن الإزاحة في نقطة التماس تساوي نصف طول المنحنى المتدرج .

6-2-2-11 ترتيب الحسابات Setting-out Calculations :

من المعتاد عملياً أن تكون المعلومات اللازمة لتثبيت المنحنيات المتدرجة مرتبة وفق جداول معدة خصيصاً لغايات تصميم الطرق آخذة بعين الاعتبار مختلفة سرعات السيارات ومختلف أنصاف الأقطار المناسبة ولكن اعتقد أن للمهندس بحاجة ماسة إلى معرفة طريقة الحصول عليها واشتقاقها عند اللزوم وفيما يلي ترتيب للعناصر والقوانين الأساسية المشاركة في توقيع المنحنيات المتدرجة .

1 - تحدد درجة المنحنى D أو مقدار نصف قطر المنحنى الدائري للوصول من طرفية بمنحنيين متدرجين وكما قلنا يعتمد هذا على طبوغرافية الموقع ومزايا الطريق الفنية من حيث السرعة والميل العرضي (Super- elevation) .

وفيما يلي جدول يمكن الاستئناس به لتحديد نصف القطر بمعرفة سرعة العربة ودرجة الميل العرضي فقط أي دون أخذ مسافة الرؤية بعين الاعتبار.

2 - قياس زاوية انحراف الجزئين المستقيمين (Deflection Angle) . إن قياس زاوية الانحراف Θ يأتي كمرحلة لاحقة لمراحل تخطيط الطريق على الخرائط والصور الجوية فإذا ما تم تصميم محور الطرق على الصور الجوية والخرائط وتم توقيعه على الطبيعة بمعرفة إحداثيات عدد كاف من النقاط المتميزة والهامة (نقاط تقاطع الخطوط المستقيمة (Point of Intersections (P.I) أو بالاستعانة بالنقاط والخطوط الأساسية التي تم إنشاؤها في الحقل في أثناء المسح الطبوغرافي لشريط الأرض موضوع الدراسة ، أصبح الأمر في غاية البساطة وقد سبق أن أشرنا إلى قياس هذه الزاوية في بحث المنحنيات الدائرية البسيطة .

3 - حساب طول المنحنى المتدرج L

لقد سبق أن أوضحنا بضعة طرق لحساب المنحنى المتدرج ويمكن تطبيق أي واحدة منها لحسابه ، على سبيل المثال نطبق العلاقة :

$$L = \frac{V^3}{aR}$$

حيث : V : سرعة العربة Km/hr

R : نصف قطر للمنحنى الدائري (m)

a : معدل التغير في التسارع القطري m/Sec^3 .

4 - حساب الإزاحة S

هذه تحسب من العلاقة : $S = \frac{L^2}{24R}$

حيث أن كلا من L (طول المنحنى المتدرج) و R (نصف قطر المنحنى الدائري) أصبح معلوماً .

5 – حساب طول المماس

بملاحظة الشكل (11-26) يتبين أن طول المماس PI, T_o :

$$PI, T_o = PI, A + T_o, A$$

لكن سبق أن أوجدنا قيمة T_oA :

$$T_oA = \frac{L}{2}$$

أما PI , A فهو يساوي نصف قطر القوس الدائري الأصلي $(R + S)$ مضروباً في ظل نصف الزاوية المركزية المنشأة عليه ، أي أن

$$PI,A = (R+S)\tan\frac{\Theta}{2} + \frac{L}{2}$$

وقد سبق أن اشتققنا هذه العلاقة في بحث المنحنيات الدائرية البسـيطة . وعليـه يصبح طول المماس PI,T_o مساوياً .

$$PI,T_o = (R+S)\tan\frac{\Theta}{2} + \frac{L}{2} \quad \text{...} (59-11)$$

6 – تعيين نقطة التماس T_o :

نقيس بدءاً من نقطة التقاطع PI وفق استقامة المستقيم الأول (المماس الأول PI,T_o) طولاً قدره PI ,T_o المحسوب أعلاه فتكون نقطة نهاية هذا الطـول هـي نقطة التماس بين خط المستقيم الأول والمنحنى المتدرج أي النقطة T_o .

7 – تحديد أطوال الأوتار أو الأقواس الجزئية :

تحديد أطوال الأوتار الجزئية بحيث لا تتعدى المقدار R/40 أي نصـف أطـوال الأوتار الجزئية الخاصة بالمنحنى الدائري ولابد من الملاحظة هنا أيضـاً أن طـول الوتر الجثي الأول $T_o,1$ يختار بحيث تصبح محطة النقطة الأولى رقماً مدوراً يقبـل القسمة دون كسر على 5 أو 10 ثم تتلوها أوتار جزئية متسـاوية c وبحيـث لا تتعدى أطوالها أيضـاً R/40 وتكون محطات النقاط التابعة لها أرقامـاً مـدورة مناسبة أيضاً وفيما يتعلق بالوتر الجزئي الأخير يكون طوله بالطبع مساوياً لطـول المنحنى المتدرج مطروحاً منه طول الوتر الجزئي الأول ومجموع أطـوال الأوتـار الجزئية الوسطية .

8 – تحديد زوايا الانحراف :

لحساب زاوية الانحراف Δ لنقطة ما على المنحنى لابد أولاً من تحديـــد مقـــدار المسافة بين هذه النقطة بين نقطة تماس للمنحنى المتدرج مع الخط المســتقيم وفــق المنحنى المتدرج (نظرياً) أي قياس المسافة ℓ (Progressive Chainage from T_o) وهي تساوي بتقريب جيد مجموع أطوال الأوتار الجزئية ما بين هذه النقطة ونقطة التماس T_o بالنسبة للمنحنى المتدرج الأيسر أما بالنسبة لنقاط المنحــنى المتــدرج الأيمن فيؤخذ مجموع أطوال الأقواس أو الأوتار الجزئية ما بين النقطـــة المعتـــبرة ونقطة التماس الأخيرة T_3) .

وحيث أن العلاقة بين زاوية الإنحراف δ وبين الزاوية ϕ هي : $\delta = \frac{\Phi}{3}$

فبالتعويض عن قيمة ϕ : $\Phi = \frac{\ell^2}{2RL}$ radians

يصبح لدينا: $\delta = \frac{\ell^2}{2RL}$ radians

$$\delta = \frac{\ell^2}{6RL} \times \frac{180°}{\pi} \text{ degrees}$$

$$\delta = \frac{\ell^2}{6RL} \times \frac{180°}{\pi} \times 60 \text{ minutes}$$

$$\delta = \frac{1800}{\pi} \times \frac{\ell^2}{RL} \text{ minutes} \quad \text{.....................................}(60-11)$$

ملحوظة :

لمعرفة زاوية الإنحراف δ التي تخص النقطة الأخيرة من المنحنى المتدرج T_o أي نقطة تماس المنحنيين الدائري والتدريجي يكفي أن نعوض في المعادلة أعلاه عن قيمة ℓ بـــــ L (طول المنحنى المتدرج) حيث تشكل بعينها المسافة وفق المنحنى المتدرج ما بين النقطـــة المعتبرة T_1 ونقطة التماس الأولى T_o وعليه :

$$\delta_{T_1} = \frac{\Phi_1}{3} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L^2}{RL}$$

$$\delta_{T_1} = \frac{1800}{\pi} \frac{L}{R} \min$$

و - توقيع نقاط المنحنى المتدرج Setting out the Transition Curve

هنا سنميز بين طريقتين :

أ . باستخدام الأشرطة (قياسات خطية) فقط دون حاجة لقياس زوايا انحراف وهنا يمكن استعمال المنحنى المكعبي الحلزوني Cubic Spiral أو المنحنى المكافئ المكعبي Cubic Parabola .

حيث كما ذكرنا معادلة المنحنى المكعبي الحلزوني هي : $x = \frac{\ell^3}{6RL}$

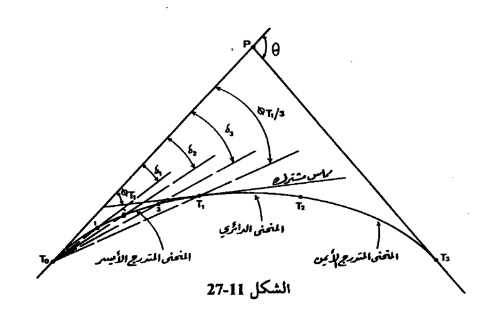
ومعادلة المنحنى المكعبي المكافئ هي : $x = \frac{y^3}{6LR}$

وفي كل من هاتين المعادلتين وبالنسبة لنقاط المنحنى المتدرج الأيسر يجري قياس مسافة على المماس الأول T_o , PI وبدءاً من النقطة T_o قدرها ℓ (بعد النقطة عن نقطة التماس الأولى T_o) ثم من نهاية هذا الطول يقام عمود بطول قدره x محسوباً من إحدى المعادلتين السابقتين فتكون نقطة نهاية العمود هي نقطة على المنحنى المتدرج مع ملاحظة أن $y = \ell$.

ملحوظة :

يغلب استخدام هذه الطريقة في المرحلة الأولى من التصميم وحيث لا حاجة إلى دقة كبيرة .

ب . باستخدام الأشرطة جنباً إلى جنب مع جهاز الثيودوليت وباستعمال معادلة المنحنى المكعبي الحلزوني Cubic Spiral . هنا في هذه الطريقة يتم إجراء قياسات خطية وأخرى زاوية فلتعيين النقطة الأولى شكل (27-11) من المنحنى المتدرج ينصب جهاز الثيودوليت أولاً في نقطة التماس الأولى T_o ثم يوجه خط النظر باتجاه أي نقطة على المماس T_o, PI ثم تصفر الزوايا الأفقية وبعدها يلف المنظار باتجاه دوران عقارب الساعة (حسب الشكل 11-27) بمقدار زاوية الانحراف $(\delta_1 = (1800/\pi)(\ell_1^2 / RL)'$ ثم يقاس وفق خط النظر الجديد الحالي مسافة قدرها طول الوتر الجزئي الأول c_1 فتكون نقطة نهاية الوتر الجزئي هذا هي موقع النقطة الأولى 1 من المنحنى المتدرج .



الشكل 11-27

لتحديد نقطة ثانية 2 من المنحنى المتدرج نتابع تدوير المنظار حتى نقـــرأ علـــى الدائرة الأفقية المقدار δ_2 وتساوي: $(\delta_2 = (1800/\pi)(\ell_2^2 / RL)')$ وهنا تكون ℓ_2 الداخلة في القانون مساوية : $\ell_2 = c_1 + c$ ثم نضع صفر الشريط عند النقطة ℓ التي تم تحديدها في الطبيعة ونشد الشريط بشكل مستقيم وافقي ونتحرك به يميناً أو يساراً حتى يقطع خط النظر الشريط عند التدريج المعادل لطول الوتر الجزئي الثاني ومقداره c عندها نغرس وتداً بشكل راسي وماس لنقطة التقـــاطع هـــذه فيكون الوتد بمثابة النقطة 2 من المنحنى المتدرج .

لتحديد نقطة ثالثة 3 من المنحنى المتدرج نتابع تدوير المنظار حتى نقـــرأ علـــى الدائرة للمقدار δ_3 وتساوي : $(\delta_3 = (1800/\pi)(\ell_3^2 / RL)')$ ونـــا تكـــون ℓ_3 الداخلة في القانون مساوية : $\ell_3 = c_1 + 2c$ ثم نضع صفر الشريط عند النقطة 2 التي تم تحديدها في الطبيعة ونشد الشريط بشكل مستقيم وافقي ونتحرك بـــه يميناً ويساراً إلى أن يتقاطع خط النظر مع الشريط عند التدرج المعـــادل لطـــول الوتر الجزئي الثالث c وعندها نغرس وتداً بشكل رأسي وماس لنقطة خط النظر مع الشريط فيكون هذا الوتد بمثابة النقطة 3 من المنحنى المتدرج وهكذا دواليك بالنسبة لبقية النقاط وحتى نقطة تماس المنحنى للتدرج مع المنحنى الدائـــري أي

حتى T_1 والتي تحدد أيضاً بنفس الأسلوب أي يلف المنظار حتى نقرأ على الدائرة الأفقية المقدار :

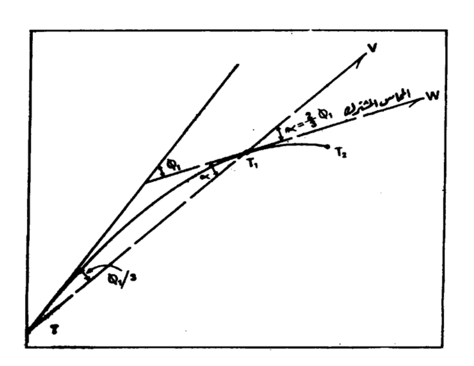
$$\delta_{T_1} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{\ell^2_{T_1}}{RL} \quad \min$$

ولكن : $\ell_{T_1} = L$ إذن :

$$\delta_{T_1} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L^2}{RL} = \frac{1800}{\pi} \times \frac{L}{R} \min$$

ثم نضع صفر الشريط عند النقطة التي تسبقها مباشرة والتي تم تحديدهـــا علـــى الأرض ثم يشد الشريط أفقياً ونجد نقطة تقاطع خط النظر مع الشريـــط عنـــد التدريج المعادل لطول الوتر الجزئي الأخير c_2 والمساوي لطول المنحنى المتـــدرج مطروحاً منه طول الوتر الجزئي الأول c_1 ومجموع الأوتار الجزئية الوسطى $n \times c$ بفرض أن عددهـــا n ونغرس وتداً بشكل رأسي ومماس لنقطة تقـــاطع هـــذه فتحدد نقطة التماس T_1 .

10 - تحديد اتجاه المماس المشترك بين المنحنى الدائري والمنحنى المتدرج لتوقيع نقـــاط المنحنى الدائري (إن وجد إذ قد يكون طوله مساوياً للصفر). لابد أولاً مـــن تحديد اتجاه المماس المشترك Common Tangent لذا وبالاستعانة بالشكل(11-28) نلاحظ أنه عند تحديد التماس T_1 يكون خط النظر باتجاه يكوّن مـــع الممـــاس المشترك زاوية مقدارها α حيث : $\alpha = \phi_1 - (\phi_1 / 3) = \frac{2}{3}\phi_1$



الشكل 11 - 28

وعليه لتحديد اتجاه المماس المشترك $T_1 w$ يكفي أن ننقل جهاز الثيودوليت إلى نقطة التماس T_1 ثم بعد ضبط التمركز والأفقية نوجه المنظار إلى نقطة التماس T_0 ونثبت الحركة الأفقية ونعكس للنظار بتدويره في المستوى الرأسي فيصبح باتجاه $T_1 V$ أي على استقامة $T_0 T_1$ ثم نصفر الدائرة الأفقية (عداد قياس الزوايا الأفقية) ونلف المنظار بمقدار:

$$\alpha = \frac{2}{3}\ \Phi_1$$

فيصبح اتجاه خط النظر وفق اتجاه للماس المشترك ، وهنا نثبت علامة محددة ومناسبة على هذا الاتجاه للتوجه نحوه مستقبلاً إن لزم الأمر .

11 - تحديد نقاط من المنحنى الدائري :

بعد أن نكون قد حددنا نقطة التماس T_1 (نقطة تماس للمنحنى الدائري مع المتدرج) واتجاه المماس تصبح المسألة مسألة تثبيت منحنى دائري بسيط وبالتالي

نتبع نفس أسلوب وحسابات للنحنيات الدائرية البسيطة إذ نقــوم بــالخطوات التالية :

- تحسب الزاوية المركزيــة المقابلة للمنحنى الدائــــري بكاملــه والمســاوي (بملاحظة الشكل 11-25) لـــ $\Theta - 2\phi_1$.

- يحسب طول للنحنى الدائري من العلاقة : $L = \frac{\pi R}{180}(\Theta - 2\Phi_1)$

- تحسب أطوال الأقواس أو الأوتار الجزئية بحيث لا يتعدى طول كل منــــها R/20 .

- تحسب زوايا الانحراف من العلاقة $\delta = (1718.873xc / R)'$(عندما يكـــون نصف القطر محدداً)أو من العلاقة $\delta = (C \times D)'$ (عندما تكـــون درجـــة للنحنى محددة).

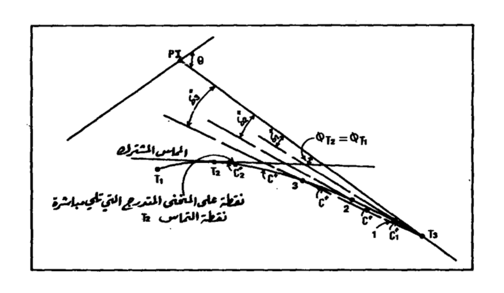
- توقع نقاط المنحنى الدائري تماماً باتباع نفس أسلوب المنحنيات الخاصـــــة بكل نقطة مع ملاحظة أن يكون طول القوس الجزئي الدائري الأول C_1' لايتعدى R/20 وفي الوقت نفسه بحيث تصبح محطة النقطة الأولى 1 مــــن للنحنى الدائري رقماً مدوراً مناسباً يقبل القسمة على 5 أو 10 دون كسر ثم تأتي الأقواس الوسطية والتي أيضاً لا تتعدى أطوالها R/20 وتكون أرقاماً مدورة مناسبة أما القوس الجزئي الأخير C_1' فيكون مساوياً لطول المنحنى الدائري الكلي L' مطروحاً منه طول القـــوس الجزئــــي الأول C_1' ومجموع أطوال الأقواس الجزئية الوسطى nc بفرض أن عددها يساوي n .

12 - لتثبيت للنحنى المتدرج الأيمن نحدد نقطة التماس T3 بأن نقيس بدءاً من نقطـــة التقاطع PI مسافة قدرها طول للماس الكلي $PI, T_3 = PI, T_0$ فتكون نقطـــة نهاية للسافة هذه هي نقطة التماس T_3 . الآن نثبت جهاز الثيودوليــت فوقــها وبعد ضبط التمركز والأفقية نرصد نقطة التقاطع PI ونصفر الدائـــرة الأفقيــة ونلف باتجاه معاكس للدوران عقارب الساعة ، في حالة الشكل (11-29)، زاوية أفقية قدرها δ_1''ثم نقيس وفق خط النظر بدءاً من نقطـــة التمـــاس T_3 مســـافة تســـاوي طول القوس الجزئي الأول c_1 فتحدد النقطة الأولى من للنحنى للتدرج

الأيمن ونتابع العمل بنفس أسلوب المنحنى المتدرج الأيسر ولا نلاحظ اختلافاً سوى أن اتجاه لف المنظار يكون بالاتجاه المعاكس .

ملحوظة :

يحبذ أولاً أن تحدد قيمة القوس الجزئي الأخير c_2 للمنحنى للتدرج الأيمن لاحظ الشكل (29-11) الملاصق للمنحنى الدائري بحيث لا يتعدى طوله R/40 وفي الوقت نفسه تكون محطة النقطة على المنحنى المتدرج (انظر الشكل 11-29) التي تلي مباشرة نقطة التماس T_2 (نقطة تماس المنحنى الدائري مع المنحنى للتدرج الأيمن) رقماً مدوراً مناسباً كما أشرنا من قبل ، أما أطوال الأقواس الجزئية الوسطية c فلا تتعدى R/40 وبالنسبة لطول القوس الجزئي الأول c_1 فيكون طوله مساوياً لطول المنحنى المتدرج L مطروحاً منه طول القوس الجزئي الأخير c_2'' ومجموع أطوال الأقواس الجزئية الوسطى n c بفرض أن عددها n .



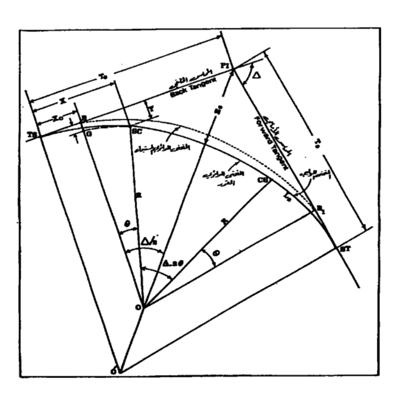
الشكل 11- 29

7-2-2-11 المنحنى الدائري الموصول بمنحنيين لولبيين مماساهما متساويان

(Equal-Tangent Spiraled Circular Curve)

فيما يلي شرح واف للمنحنى اللولبي (Spiral Curve) الذي يُعَدُّ من أكثر المنحنيات التدريجية شيوعاً نظراً لمزاياه المفضلة ومن أهمها تغير انحنائه بمعدل ثابت (Constant Rate) .

يوضح الشكل (11-30) منحنى دائرياً موصولاً عند طرفيه بمنحنيين لولبيين متشابهين تماماً طول كل منهما Ls ، نطلق على المنحنى الأيسر (بافتراض أن تقدم العمل يتم من اليسار نحو اليمين) المنحنى اللولبي للقارب (Approach Spiral) ونطلق على المنحنى الأيمن المنحنى اللولبي المغادر (Leaving Spiral) .



الشكل 11-30 المنحنى الدائري الموصول بمنحنيين لولوبيين مماسهما متساويات

أمّا الرموز الظاهرة على الشكل (11-30) فلها الدلالات التالية :

الرمز : المعنى

Ls طول المنحنى اللولبي

TS نقطة اتصال المماس الخلفي (Back Tangent) بالمنحنى اللولبي للقارب (Tangent to Spiral).

SC نقطة اتصال المنحنى اللولبي بالمنحنى الدائري (Spiral to Curve) حيث درجة انحناء المنحنى اللولبي هي نفس درجة انحناء المنحنى الدائري وقد بلغها المنحنى اللولبي بشكل تصاعدي تدريجي ابتداء من الصفر عند نقطة الـ TS .

CS نقطة اتصال المنحنى الدائري بالمنحنى اللولبي (Curve to Spiral) .

ST نقطة التقاء المنحنى اللولبي المغادر بالمماس الأمامي (Spiral to Tangent) وهنا تكون درجة انحناء المنحنى اللولبي مساوية لدرجة انحناء الخط المستقيم ، أي 0^o .

O مركز المنحنى الدائري .

OB الخط العمودي على المماس الخلفي والموازي أيضاً للخط O′,TS

G نقطة إلتقاء امتداد المنحنى الدائري من جهة الـ SCبالخط OB (أي أن OG=R)

BG رمية (Throw) المنحنى اللولبي وسنرمز له بـ " t "

X_o المسافة الأفقية بين النقطتين TS,B مقيسة عبر المماس الخلفي .

X,Y الإحداثيات السيني (المسافة المماسية) والصادي (المسافة العمودية) اللذان يحددان موقع نقطة الـ SC بالنسبة لنقطة TS ، يقاس الإحداثي السيني X عبر المماس ويقاس الإحداثي الصادي Y وفق الاتجاه العمودي على المماس.

Θ الزاوية المحصورة بين الخط OB والخط القطري O-SC ويطلق عليها زاوية المنحنى اللولبي وهي أيضاً الزاوية المحصورة بين المماس الخلفي والمماس المشترك للمنحنيين الدائري واللولبي الأيسر (للقارب)،أي الزاوية ϕ_1 في الشكل (11-25).

Ts طول المماس الممتد بين نقطة التقاطع (PT) وكل من نقطتي تماس الخط المستقيم مع المنحنى اللولبي المقارب (TS) وتماس الخط المستقيم مع المنحنى اللولبي المغادر(ST)، أي أن PI,TS = PI, ST= Ts

Es المسافة الخارجية (External Distance).

R نصف قطر المنحنى الدائري .

s مقدار الإزاحة (Shift) في المنحنى الدائري الأصلي أو المستبدل (BB_1) .

وعليه فإنه استناداً إلى الشكل (10-30) يمكن البرهان على العلاقـــات الرياضيـــة التالية (أنظر الملحق رقم –١–).

$$X = L_s\left[1 - \frac{\Theta^2}{5(2!)} + \frac{\Theta^4}{9(4!)} - \frac{\Theta^6}{13(6!)} + ...\right] .... (61-11)$$

$$Y = L_s\left[\frac{\Theta}{3} - \frac{\Theta^3}{7(3!)} + \frac{\Theta^5}{11(5!)} - \frac{\Theta^7}{15(7!)} + ...\right] .... (62-11)$$

حيث ترمز L_s إلى طول المنحنى اللولبي ويكون عادة معلوماً أو محسوباً وفق إحدى الطرق التي ورد ذِكرها آنفاً أما Θ (زاوية المنحنى اللولبي (Spiral Angle) فيمكن حسابها بمعلومية طول المنحنى اللولبي L_s ودرجة المنحنى الدائري D_a على الشكـــل التالي :

$$\Theta = \frac{L_s\, Da}{60} .... (63-11)$$

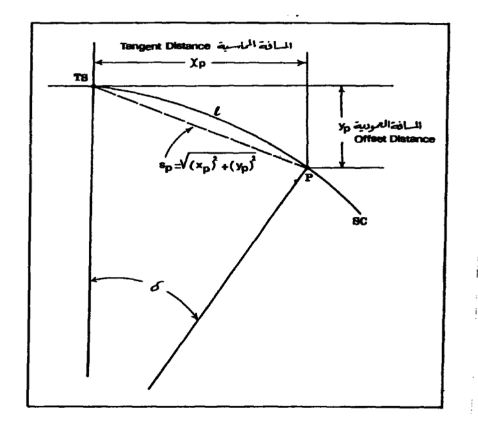
مع ملاحظة أن قيمة Θ الداخله في المعادلات (11-61) , (11-62) مقدرة بالراديان بينما قيمة Θ الداخلة في المعادلة (11-63) مقدرة بالدرجات .

لحساب الإحداثي السيني أو المسافة المماسية (Tangent Distance) والإحداثـــي الصادي (Offset Distance) لنقطة ما P من المنحنى اللولبي ، الشكـــل (11-31) , مقيسة عبر خط المنحنى اللولبي من نقطة التماس TS ولنفترض أيضاً أن الزاوية δ هي الزاوية المركزيـــة المقابلة للمسافة ℓ مقدرة بالراديان ، عندها يمكن البرهان على أن :

$$x = \ell[1 - \frac{\delta^2}{5(2!)} + \frac{\delta^4}{9(4!)} - \frac{\delta^6}{13(6!)} + ...] ....(64-11)$$

$$x = \ell[\frac{\delta}{3} - \frac{\delta^3}{7(3!)} + \frac{\delta^4}{9(4!)} - \frac{\delta^5}{11(5!)} - \frac{\delta^7}{15(7!)} .+....] ....(65-11)$$

$$\delta = (\frac{\ell}{L_s})^2 \quad \Theta ....(66-11)$$



الشكل 11-31 تعيين إحداثيات (x, y) نقطة ما واقعة على المنحنى اللولبي.

$$X_o = X - R \sin \Theta \ldots\ldots(67-11)$$

$$OB = Y + R \cos \Theta, \quad OG = R$$

$$s = OB - OG$$

$$s = (Y + R \cos \Theta) \ldots\ldots(68-11)$$

$$T_s = X_o + (R + S) \tan \frac{\Delta}{2} \ldots\ldots(69-11)$$

$$(R + E_s) \cos \frac{\Delta}{2} = R + S$$

$$R \cos \frac{\Delta}{2} + E_s \cos \frac{\Delta}{2} = R + S$$

$$E_s = (R + S - R \cos \frac{\Delta}{2}) / \cos \frac{\Delta}{2}$$

$$E_s = \frac{(R + S)}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R$$

$$E_s = (R + S)\left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}}) - 1\right) + s \ldots\ldots(70-11)$$

ملحوظة :

تنطبق المعادلات السابقة (11-61 إلى 11-70) على المنحنى اللولبي الشائع الاستعمال في تطبيقات الطرق ، أما في حالات مشاريع خطوط السكك الحديدية فإنه يجري استخدام منحنى لولبي آخر يختلف اختلافاً طفيفاً عن المنحنى الموصوف والمشروح آنفاً .

توقيع المنحنى اللولبي في الطبيعة (Layout of a Spiral in the Fiedld) :

بافتراض أنه يراد توقيع المنحنى اللولبي من خلال تحديد مواقع مجموعة من النقاط على مسافات متساوية من بعضها (وهذا هو الشائع عملياً) وليكن عددها سبع،أي أنه لدينا سبعة أوتار متساوية يصل كل واحد منها بين نقطتين متتاليتين . يمكننا هنا توقيع النقطة 1 من المنحنى اللولبي بتحديد زاوية الانحراف عن المماس الخلفي α_1 والمسافة الوترية $L_s/7$ ، الشكل ٦,٦٦ وكذلك النقطة 2 تحدد من خلال الزاوية α_2 والمسافة $L_s/7$ مقيسة بدءاً من النقطة الأولى أو الوتد الأول وهكذا بالنسبة لبقية النقاط ولغاية النقطة السابعة أو الوتد السابع الذي هو بعينه النقطة SC . إن المعادلة التي تعطي قيمة زاوية الانحراف عن المماس الخاصة بكل نقطة من النقاط الممثلة للمنحنى اللولبي هي ، أنظر الشكل (11-32).

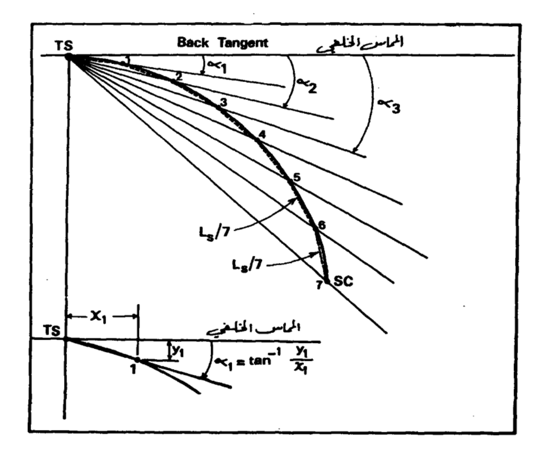
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x} \ldots\ldots(71-11)$$

حيث x , y يرمزان إلى المسافتين المماسية والعمودية على التوالي للنقطة العينة من المنحنى كما مر معنا ويمكن حسابهما من خلال المعادلات الثلاث (11-64, 11-65 ,11-66) .

ملحوظة :

عند استخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station) في توقيع نقاط المنحنى اللولبي، فإن المسافة الوترية التي تقاس هي تلك التي تصل بين نقطة التماس TS (موقع الجهاز) والنقطة المعنية من المنحنى . فإذا رمزنا لهذه المسافة بـ s فتكون عندها مساوية ، الشكل (11-33) .

$$s=\sqrt{x^2+y^2} \quad \text{.........} (72-11)$$



الشكل 11-32 توقيع المنحنى اللولبي بقياس زاوية الانحراف عن المماس لكل نقطة والمسافة الوترية التي تصل بين كل زوج من النقاط المتتالية والمعتبرة ممثلة للمنحنى اللولبي

$$s_1 = \sqrt{X_1^2 + y_1^2}\ , \quad \alpha_1 = \tan^{-1}\frac{y_1}{X_1}$$

$$s_2 = \sqrt{X_2^2 + y_2^2}\ , \quad \alpha_2 = \tan^{-1}\frac{y_2}{X_2}$$

$$s_3 = \sqrt{X_3^2 + y_3^2}\ , \quad \alpha_3 = \tan^{-1}\frac{y_3}{X_3}$$

الشكل 11-33 توقيع المنحنى اللولبي باستخدام جهاز المحطة الشاملة (Total Station)

مثال 11-1

أوجد مقدار نصف قطر منحنى دائري درجة انحنائه (′30) وذلك على أساس التعريف الوتري (′100) و (30m) ، على التوالي:

الحل :

$R = 50/\sin(15') = 11459.19\ \text{ft}$

$R = 15/\sin(15') - 3437.76\ \text{m}$

مثال 11-2

نفس نص المثال (11-1) ولكن على أساس التعريف القوسي (′100) و (30m)، على التوالي .

الحل :

$R = 5729.578 / (0.5°) = 11459.156\ \text{ft}$
$R = 1718.873/0.5°) = 3437.746\ \text{m}$

مثال : 11-3

أوجد طول منحنى دائري زاوية إنحراف مماسية (Δ) تساوي °45 وذلك إذا كانت درجة انحنائه (′40) ووفق التعريفين القوسي والوتري بطول 30m ، على التوالي :

الحل :

$L_{(1)} = 30\text{m}(45° / 0.6666667°) = 2025\text{m}$

$L_{(2)} = 30'(45° / 0.6666667°) = 2025\text{m}$

أي لا فرق بينهما (وفق التعريفين القوسي والوتري) .

مثال 11-4 :

نفس نص المثال (11-3) ولكن على أساس الطول (′100) بدلاً من (30m) .

الحل :

$L_{(1)} = 100'(45° / 0.6666667°) = 6750\text{m}$

$L_{(2)} = 100'(45° / 0.6666667°) = 6750\text{m}$

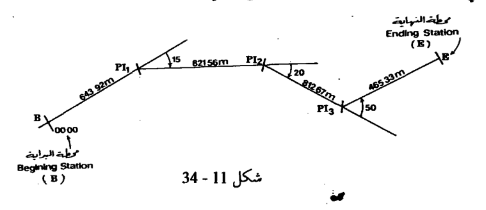
أي لا فرق بينهما .

مثال 11- 5 :

لحساب محطات النقاط الرئيسيَّة (نقاط التقاطع وبدايات ونهايات المنحنيات المتتالية (Pis,PCs, and PTs من محور مشروع طريق معين مكون من أربعة مماسات (Four Tangents) وثلاث نقاط تقاطع (Three PIs) وبالطبع ثلاثة منحنيات رابطة لها ، الشكل (11-34)، المعطيات التصميمية لزوايا التقاطع والمنحنيات هي كما هو مبين في الجدول التالي :

رقم المنحنى	زاوية التقاطع أو زاوية الانحراف Intersection or Deflection Angle	درجة المنحنى وفق التعريف القياسي (30m)
1	15°	4°
2	20°	3°
3	50°	2°

أما أطوال المسافات الأفقية (الأجزاء المستقيمة التي تربط بين زوايا التقاطع الثلاث) فهي 643.92m , 812.67m,465.33m على التوالي .



شكل 11 - 34

الحل :

أولاً : حساب قيمة كل من نصف القطر(R) وطول المنحنى (L) وطول المماس(T) لكل من المنحنيات الثلاثة .

المنحنى الأول :

أ – مقدار نصف القطر (R_1) :

$$R_1 = \frac{1718.87}{(D_a)_1} = \frac{1718.87}{4} = 429.72m$$

ب - طول المنحنى (L) (6-13) :

$$L_1 = \frac{.R_1.\Delta_1}{180} = 112.50m$$

جـ- طول المماس (T) :

$$T_1 = R_1.\tan\frac{\Delta_1}{2} = 56.57m$$

المنحنى الثاني :

بطريقة مشابهة نحسب T_2, L_2, R_2 وهي :

$$R_2 = \frac{1618.87}{(D_a)_2} = \frac{1718.87}{3} = 572.96m$$

$$L_2 = \frac{\pi.R_2.\Delta_2}{180} = 200.00m$$

$$T_2 = R_2.\tan\frac{\Delta_2}{2} = 101.03m$$

المنحنى الثالث :

$$R_3 = \frac{1718.87}{(D_a)_3} = \frac{1718.87}{2} = 859.44m$$

$$L_3 = \frac{\pi.R_3.\Delta_3}{180} = 750.00m$$

$$T_3 = R_3.\tan(\Delta_3 / 2) = 400.76m$$

وهذه القيم جميعها مرتبة في الجدول التالي :

رقم المنحنى	نصف القطر R (m)	طول المنحنى L (m)	طول المماس T (m)
1	429.72	112.50	56.57
2	572.92	200.00	101.03
3	859.44	750.00	400.76

ثانياً : حساب محطات نقاط التماس والتقاطع :

محطة البداية 00.00

طول الجزء المستقيم الأول $B\text{-}PI_1$ .... 643.92 +

محطة نقطة التقاطع الأول PI_1 Station (PI_1) 643.92

يطرح طول المماس الأول T_1 .... $-T_1$....- 56.57

محطة نقطة التماس PC_1 .... Station (PC_1)..587.35

يضاف طول المنحنى الأول (L_1) .... $+L_1$ ....+112.50

محطة نقطة التماس PT_1 .... Station(PT_1)...699.85

يضاف طول المستقيم الثاني مطروحاً .... 821.56 +

منه طول المماس للمنحنى الأول (T_1) 56.57 - .... - T1

محطة نقطة التقاطع الثانية PI_2 .. Station(PI_2) 1464.84

يطرح طرح المماس الثاني (T_2) .... $-T_2$ ...- 101.03

محطة نقطة التماس PC_2 ... Station (PC_2) 1363.81

يضاف طول المنحنى الثاني (L_2) .... $+L_2$ ...+ 200.00

محطة نقطة التماس PT_2 .... Station (PT_2)...1563.81

يضاف الطول ($PI2 - PI_3$) .... 812.67 +

يطرح طول المماس للمنحنى الثاني ... 101.03 -

محطة نقطة التقاطع PI_3 ... Station(PI_3)..............2275.45

يطرح طول المماس الثالث 400.76 - ..... $-T_3$

محطة نقطة التماس (PC_3) ... Station (PC_3)..... 1874.69

يضاف طول المنحنى الثالث (L_3) 750.00 ... $+L_3$

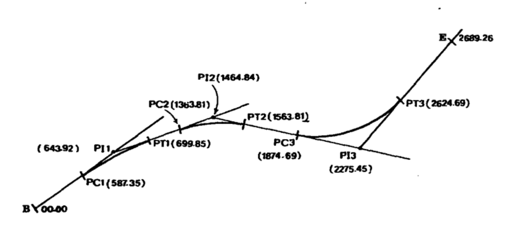
محطة نقطة التماس (PT_3) Station (PT_3) 2624.69

يضاف الطول (PI_3 - E) .... 465.33 +

يطرح طول المماس للمنحنى الثالث $-T_3$ .....- 400.76

محطة نقطة الانتهاء (E) .... Station (E) 2689.26

وهذه المحطات مبنية على الشكل (11-35) التالي :



شكل 11-35

ملحوظات :

1 - حيث أننا استخدمنا درجة المنحنى وفق التعريف القوسي (Arc Definition) أثناء حساب المحطات المختلفة، لذا فإن المحطات المحسوبة تمثل المسافة الأفقية الفعلية من نقطة بداية المشروع ووفق خط الوسط للمشروع (Centerline) .

2 - لاحظ أن حساب المحطات وترقيمها قد تم عبر للمنحنيات وليس عبر نقاط المتقاطع.

3 - إن قياس زاوية الانحراف Δ تأتي كمرحلة لاحقة لمراحل تخطيط الطريق فإذا ما تم تخطيط المحور للقترح للطريق في الطبيعة أصبح من السهل قياس زوايا الانحراف لكل زوج من المستقيمات للتقاطعة للشكلة لمحور هذا الطريق ، إذن لا مشكلة في قياس زاوية الانحراف بحد ذاتها بل للشكلة إن وجدت فهي تنحصر في اختيار محور الطريق أي أجزائه للستقيمة ومن ثم نقاط التقاطع (Points of Intersections(P.I) .

مثال 11 - 6 :

بمعرفة عناصر المنحنى الدائري التالية ، احسب جمع العناصر الأخرى المتبقية الـــتي تلزم لتحديد موقع المنحنى الدائري كاملاً بطريقة زوايا الانحراف(Deflection Angles).

$\Delta = 19°57'20'' R$

$D_a = 1°50'$(30m حالة التعريف القوسي وبطول)

Chainage or Station of PI = 1507.84m .

الحل :

1 - تعيين نصف القطر (R)

$R = 178.87/D_a = 937.57$ m

2 - تعيين طول المماس (T)

$T = R. \tan \Delta/2 = 164.94$ m

3 - تعيين المسافة الخارجية (E)

$E = R.\text{exsec } \Delta/2 = 14.40$ m

4 - تعيين سهم القوس (M)

$M = R.\text{vers } \Delta/2 = 14.18$ m

5 - تعيين طول الوتر الطويل (LC)

$LC = 2R.\sin \Delta/2 = 324.90$ m

6 - تعيين طول المنحنى الدائري (L)

$L = \pi.R. \Delta/180 = 326.55$ m

7 - تعيين محطتي نقطتي التماس الأولى والثانية

Station of PC = Station of PI-T
Station of PC = 1507.83 -164.94 =1342.89 m
Station of PT = Station of PC + L
Station of PT = 1342.89 + 326.55 = 1669.44m

ويمكن ترتيب هذا على الشكل التالي :

Station PI = 1507.83 m
- T = 164.94
Station PC = 1342.89 m
+L = 326.55m
Station PT = 1669.44 m

8 – حساب أطوال الأقواس الجزئية :

حيـــث أن $R/20 = 46.88m$ ، لذا يمكن اختيار أطـــوال للأقـــواس الجزئيـــة لا تتجاوز هذا الطول ولتكن 30 m . وبما أن أول محطة على المنحنى الدائري من مضاعفات الـــ 30m وتلي محطة نقطة التماس الأولى (1342.89m) هي 1350m، لذا يكون طـــول القوس الجزئي الأول مساو : 1342.89- 1350 : c_1 أما الأقواس الجزئية المتوسطة فيبلـــغ طول كل منهما $c = 30m$. وأخيراً يكون طول القوس الجزئي الأخير (c_2) مساو للفرق بين محطة الـــ PT وبين أقرب محطة إليها على المنحنى الدائري ومن مضاعفات الـــ30m، أي 1650m وعليه يكون $c_2 = 1669.44 - 1650 = 19.44m$. إذن يكون لدينا قـــوس جزئي أول (c_1) بطول 7.11 ، وعشرة أقواس جزئية وسطى طول كل منها $c = 30m$ ، وقوس جزئي أخير (c_2)بطول 19.44m ، وعليه تكون أطوال الأقواس الجزئيـــة وعمليـــة التحقيق الحسابي على الشكل التالي :

$c_1 = 7.22\ m,\ \ c = 30\ m\ ,\ \ c_2 = 19.44\ m$

$c_2 \times (1) + c \times (10) + c_2) \times (1)\ 7.11 \times (1) + 30 \times (10) + 19.44 \times (1) = 326.55m$

وهذا يتفق بالطبع مع الطول المحسوب للمنحنى الدائري .

9 – حساب زوايا الانحراف :

تحسب زاوية الانحراف الجزئية (d_1) الخاصة بتعيين موقع النقطـــة الأولى (1) مـــن المنحنى الدائري (d_1) على الشكل التالي :

$$d'_o = D \times c_o$$

أو

$$d'_1 = D \times c_1 = 1.8333 \times 7.11 = 0°\ 13'\ \ \ 2.1''$$

لاحظ أن المقدار 1.8333 يمثل درجة المنحنى ($1°\ 50'$) يمكن أيضـــاً اســـتخراج زاويـــة الانحراف d_1 بالنسبة والتناسب على الشكل التالي :

حيث : $1°\ 50'$ تمثل الزاوية المركزية المقابلة لقوس دائري طوله 30m (التعريف القوسي)، الكسر 7.11/30 يمثل نسبة طول القوس الجزئي الأول إلى طول القوس حسب التعريـــف القوسي وعلى أساس درجة المنحنى المعطاة في المسألة ، وأخيراً المقدار ½ هو نظراً لكـــون زاوية الانحراف المحصورة بين المماس والوتر في منحنى دائري مســـاوية لنصـــف الزاويـــة المركزية المقابلة للوتر أو القوس الجزئي الدائري ذي العلاقة .

أما زاوية الانحـــــراف الجزئيـــة (d) الخاصـــة بكـــل مـــن النقـــاط الوســـطى (2,3,4,5,6,7,8,9,10,11) فتحسب أيضاً من نفس المعادلة :

$$d = D \times c = 1.8333 \times 30 = 0^\circ 55'$$

أو :

$$d = 1/2\ (30/30)\ (1^\circ 50')\ 0^\circ 55'$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية (d) الخاصة بالنقطة الأخيرة من المنحنى الدائري (نقطة الـــ PT) فتساوي :

$$d_2 = D \times c_2 = 1.8333 \times 19.44 = 0^\circ\ 35'\ 38.4''$$

$$d_2 = 1/2\ (19.44/30)(1^\circ 50') = 0^\circ\ 35'\ 38.4''$$

10 – التحقق من زوايا الانحراف

إن مجموع زوايا الانحراف المحسوبة تتساوى نظرياً مع نصف زاوية الانحراف Δ .

فيما يتعلق بمجموع زوايا الانحراف فهو يساوي :

$$d_1 \times (1) + d \times (10) + d_2 \times (10) =$$

$$13' \times (1) + 55' \times (10) + (10) + 35.6'\ (1) = 9^\circ\ 58'\ 36''$$

أما نصف زاوية الانحراف فيساوي :

$$\frac{\Delta}{2} = \frac{19^\circ\ 57'\ 20''}{2} = 9^\circ\ 58'\ 40''$$

وكما هو واضح فإن الفرق لا يتعدى "4 وهو ناتج عن أعمـــــال التقريـــب الحســـابي (Round - off- Error) .

الشكل (11-36) يبين الوضع التقريبي الذي يجب أن يكون عليه للنحـــــنى الدائـــري في الطبيعة وقد كتبت بجانبه قيم العناصر الأساسية الداخلة في تصميمه ، أما الجدول (11-1) فيوضح قيم زوايا الانحراف الجزئية والكلية إضافة إلى قيم الأقواس والأوتار الجزئية وأرقام نقاط المنحنى . لاحظ أن تزايد المحطات أو التدريجات جاء في الجدول من الأسفل للأعلى كي ينسجم مع اتجاه تقدم العمل في تعيين المنحنى .

ملحوظات :

1 - حسبت أطوال الأوتار الجزئية الواردة في العمود الأيسر الثاني من الجدول (11-1) بموجب المعادلة (11-14) ، فعلى سبيل المثال ، طول الوتر الجزئي الأخير الممتد بين النقطة (11) ونقطة التماس PT يساوي :

35.6′ = 19.42 m
2R sin d2 = 2(937.57) sin

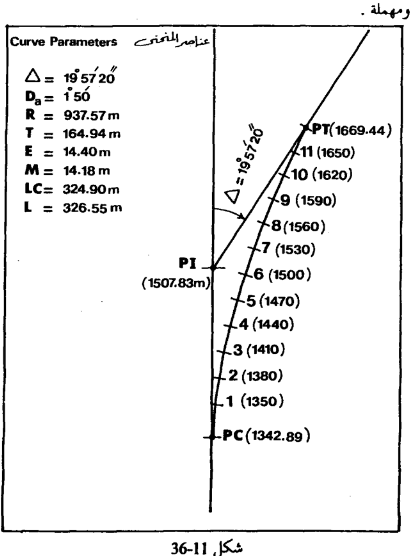
والواقع أن هذا الطول ينقص عن طول القوس بمقدار 0.02m ويعود سبب هذا النقصان إلى عاملين ، العامل الأول هو كون طول الوتر أصغر من طول قوسه بمقدار يصغر كلما زاد نصف القطر والعكس صحيح والعامل الثاني هو أن عمليات التقريب الحسابي في استنتاج قيم نصف القطر وزوايا الانحراف وغيرها تؤدي إلى بعض الفروقات . على كل حال إن هذا الفرق يُعَدُّ من وجهة النظر العملية مهملاً .

2 - للتدقيق على صحة العمليات الحسابية ، يجب أن تتساوى قيمة زاوية الانحراف الكلية التي تحدد نقطة التماس الثانية (PT) مع مقدار نصف زاوية انحراف المماسين (Δ) وإذا كان هناك فرق فلا يجب أن يتعدى مقدار العد الأصغر (Least Count) لجهاز الثيودوليت الذي سيستخدم في توقيع الزوايا . وبافتراض أن مقدار العد الأدنى لجهاز الثيودوليت المستخدم هو 1′ فلابد أن تحسب زوايا بالزيادة أو بالنقصان وبالتالي لا يجب أن يزيد الفرق (بالزيادة أو بالنقصان) بين زاوية الانحراف الكلية لنقطة التماس (PT) وبين نصف زاوية انحراف المماسين (Δ) عن 1′ فقط . وكما هو واضح في العمود الأيسر الأخير من الجدول (11-1) فإن قيمة زاوية الانحراف الكلية لنقطة PT هي وهي مقبولة عملياً .

3 - وردت قيمة زاوية انحراف المماسين Δ في نص المثال على الشكل التالي :

$\Delta = 19° 57' 20'' R$ ،ويعني الحرف R أن المماس الثاني (الأمامي) ينحـــرف عن المماس الأول (الخلفي) جهة اليمين ولو ورد الحرف L بدلا من R لكـــان الانحراف جهة اليسار ، أنظر الشكل (11-36)

4 - تمثل أطوال الأوتار الواردة في العمود الأيسر الثاني من الجـــدول رقـــم (11-1) المسافات الوترية بين الأزواج المتتالية من نقاط المنحنى الدائري وحيث أن المنحنى الدائري الوارد في هذا المثال ذا نصف قطر كبير نسبياً (Very Flat Curve) لذا فإن الفروق بين أطوال الأوتار الجزئية وأطوال الأقواس الجزئية المقابلة لها صغـــيرة ومهملة .



شكل 11-36

الجدول رقم 11-1 طريقة ترتيب المعلومات في دفتر الحقل لغايات توقيع المنحنيات الأفقية الدائرية

Point No رقم النقطة	Chord Length طول الوتر (m)	Arc Length طول القوس (m)	Station المحطة (m)	Parial Deflection Angle زاوية الانحراف الجزئية	زاوية الانحراف الكلية لأقرب (1′) Total Deflection Angle to the Nearest 1′
PT			1669.44	35.6′	9° 58′ 6″ = 0 = 9° 58′ 36″ = 9° 59′ = $\frac{\Delta}{2}$ check
	19.00	19.44			
11			1650	55′	9° 23′
	30.00	30.00			
10			1620	55′	8° 28′
	30.00	30.00			
9			1590	55′	7° 33′
	30.00	30.00			
8			1560	55′	6° 38′
	30.00	30.00			
7			1530	55′	5° 43′
	30.00	30.00			
6			1500	55′	4° 48′
	30.00	30.00			
5			1470	55′	3° 53′
	30.00	30.00			
4			1440	55′	2° 58′
	30.00	30.00			
3			1410	55′	2° 03′
	30.00	30.00			
2			1380	55′	1° 08′
	30.00	30.00			
1			1350	13′	0° 13′
	7.09	7.11			
PC			1342.89	0′	0° 00′

مثال 11-7 :

صف الخطوات الرئيسيّة الواجب إتباعها في الميدان عند توقيع المنحنى الدائري الوارد في المثال (11-6) وفقاً لطريقة زوايا الانحراف (Deflection Angle) .

الحل :

يمكن إيجاز الخطوات الرئيسية الواجب إتباعها عند تخطيط المنحنى الدائري الوارد في المثال رقم (11-6) وفقاً لطريقة زوايا الانحراف على الشكل التالي :

1 - تحديد موقع كل من نقطة بداية المنحنى (نقطة التماس الأولى PC) ونقطة نهاية المنحنى (نقطة التماس الثانية PT) على الأرض وذلك بغرس علامات مناسبة. يحدد موقع نقطة بداية المنحنى بالقياس بدءاً من أقرب وتد مثبت في الطبيعة على المماس الخلفي (Back Tangent) . على سبيل المثال ، في المثال رقم (11-6) كانت محطة نقطة التماس الأولى مساوية 1342.89m وعليه فإن المحطة أو الوتد الأقرب لنقطة التماس الأولى هو 1320m لذلك نقيس بدءاً من هذا الوتد مسافة أفقية مقدارها 22.89m (أي 1320 − 1342.89) للأمام وفي موازاة المماس الخلفي فيتحدد موقع الـ PC . كذلك من الممكن تحديد موقع الـ PC بقياس مسافة أفقية بمقدار طول المماس بدءاً من نقطة تقاطع المماسين (PI) وفي موازاة المماس الخلفي(Along the Back Tangent) . أما بالنسبة لنقطة التماس الثانية، فيجري تحديدها على الطبيعة بقياس مسافة أفقية مقدارها طول المماس بدءاً من نقطة تقاطع المماسين (PI) باتجاه المماس الأمامي (Along the Forward Tangent) .

2 - تثبيت جهاز الثيودوليت (جهاز قياس الزوايا) فوق نقطة التماس الأولى (PC) وضبط استقامته تماماً ثم التسديد من خلال المنظار باتجاه نقطة التقاطع (PI) وملاحظة أن تكون القراءة على دائرة الزوايا الأفقية في الجهاز مساوية ″0 ′0 °0

3 - البدء بتحديد مواقع الأوتاد (Stakes) الممثلة للمنحنى الدائري ما بين نقطتي التماس الأولى والثانية . في المثال (11-6) ، لتحديد موقع الوتد الأول يدار المنظار باتجاه تقدم العمل بمقدار زاوية الانحراف الخاصة بالنقطة الأولى من المنحنى

(0° 13′ 0″). ثم تقاس مسافة أفقية بمقدار طول الوتر الأول الخـــاص بالنقطـــة الأولى من المنحنى، أي 7.09m وذلك وفق اتجاه خط النظر الحالي للمنظار فتكون نقطة نهاية هذه المسافة هي موقع الوتد الأول أو النقطة الأولى من المنحنى علـــى الأرض . لتحديد موقع الوتد الثاني من المنحنى ، نتابع لف المنظار باتجـــاه تقـــدم العمل حتى نقرأ زاوية أفقية مقدارها ″0 ′8 °1 وذلك بتلقي إشارة مناسبة مـــن الراصد على الجهاز فيكون موقع نقطة تقاطع خط نظر الجهاز مــــع التدريـــج 30m من الشريط ممثلاً لموقع الوتد الثاني من المنحنى على الأرض .

نتابع العمل بنفس الأسلوب بالنسبة لبقية النقاط الوسطى من المنحنى وذلك بلف المنظار لجهاز الثيودوليت حتى يقرأ مقدار زاوية الانحراف الكلية المحددة في الجدول المعد مسبقاً والمقابلة لكل نقطة من هذه النقاط ثم تقاس للمسافة الوترية المشتركـــة ومقدارها 30m بصورة مشابهة لما تمّ عمله عند تحديد الوتد الثـــاني إلى أن يتـــم تحديد مواقع كافة النقاط الوسطى. بالنسبة للنقطة الأخيرة أو الوتد الأخير مـــن المنحنى فتتحدد من خلال تقاطع خط النظر للجهاز وهو على القـــراءة ′59 °9. (الممثلة لزاوية الانحراف الكلية الخاصة بالنقطة الأخيرة من المنحنى وهـــي نقطـــة التماس الثانية PT) مع التدريج 19.42m من الشريط المشدود بشكل مســـتقيم والمثبت صفره على الوتد الأخير من الأوتاد الوسطى للمنحنى (الوتد الأخير مـــن المنحنى على نقطة الـــPT مباشرة). من الطبيعي أن تنطبق هذه النقطة أو الوتـــد الأخير من المنحنى على نقطة الـــ PT التي تم تحديدها سابقاً بالقياس المباشر بدءاً من نقطة التقاطع (PI) كما مر معنا آنفاً ، في حالة عدم الانطباق فـــإن مقـــدار الخطأ أو الإزاحة يعكس دقة الحسابات والعمل وهذا أمر نسبي وقبوله أو رفضـــه يعتمد على نوع وطبيعة المشروع ومجال الخطأ المسموح . على سبيل المثال، هناك فرق كبير من حيث الدقة المطلوبة في تعيين مواقع الأوتاد بين مشاريع خطـــوط السكك الحديدية لغايات النقل السريع وبين مشاريع الطرق للمناطق الريفيـــة أو للمناطق التي تكون فيها كثافة السير منخفضة ، على كل حـــال ، لا توجـــد هناك معادلة محددة لتعيين مقدار الخطأ المسموح كما لا يوجـــد معيـــار قيـــاس

(Standard Criteria) للحكم على درجة الجودة في هذا الشأن أو ما يبرر رفض العمل أو قبوله .

ملحوظات :

1 - استندت الخطوات المذكورة أعلاه في توقيع للمنحنى الدائري على الطبيعة (تخطيطه على الأرض) إلى الاتجاه في تسلسل العمل من نقطة التماس الأولى PC إلى نقطة التماس الثانية PT ولكن يمكن إتباع هذه الخطوات نفسها إذا ما أريـــد عكـــس تسلسل العمل بحيث نتبدىء من نقطة التماس الثانية وننتهي بنقطة التماس الأولى مع ملاحظة أن تزايد زوايا الانحراف سيكون باتجاه معاكس للسابق ، أي باتجـــاه نقطة ألـــ PC وليس باتجاه الـــPT .

2 - على الرغم من أن النظام الستين (Sexagesimal System) في التعبير عن مقادير الزوايا لا زال معمولاً به في العديد من الدول وفي حقول مختلفة ، وبشكل خاص في حقول المساحة وأعمال الرصد الفلكي ، إلا أن النظام المئوي (Centestimal System) يجد أيضاً إقبالاً متزايداً وخاصة في أعمال المساحة والجيوديسيا نظراً لما يحققه هذا النظام من سهولة في القياس والحساب . تقسم الدائرة في النظام الستيني إلى 360 قسماً متساوياً يطلق عليه درجة (Degree or o) وكل قسم أو درجـــة هنا تعادل 60 ثانية ستينية (Second or″) أما في النظام المئوي فإن زاوية الدائرة الكلية تقسم إلى 400 قسماً متساوياً يطلق عليه غراد (Grad or g) وكل قسم أو غراض يعادل 100 دقيقة مئوية (Centesimal Minute or c) وكل دقيقة مئوية تعادل 100 ثانية مئوية (Centesimal Minute or cc) أي لآن : $1^g = 100^c = 10000^{cc}$.

مثال 11 - 8 :

صف طريقة توقيع للمنحنى الدائري، الواردة عناصره في المثال (11-6)، باستخدام جهاز المحطة الشاملة أو المتكاملة (Total Station) .

1 - يجري تثبيت جهاز المحطة الشاملة فوق نقطة التماس الأولى PC ويتـــــم ضبـــط أفقيته تماماً للبدء في عملية الرصد .

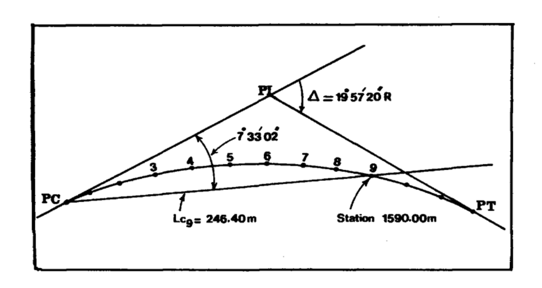
2 - يلف المنظار ليصبح خط النظر باتجاه نقطة التقاطع (PI) ، أي أن خط النظر والمماس الخلفي (Back Tangent) يقعان في مستوى رأسي واحد .

3 - أثناء ثبات خط نظر الجهاز باتجاه المماس الخلفي ، يجري تصفير الدائرة الأفقية لجهاز قياس الزوايا (الثيودوليت) لتصبح قراءة الزاوية الأفقية "0 '0 °0 .

4 - لتحديد موقع النقطة الأولى من المنحنى (الوتد الأول) على الأرض، يجري لف المنظار باتجاه تقدم العمل وبمقدار زاوية الانحراف الخاصة بالنقطة الأولى وهي "02 '13 °0 ثم يجري تحريك العاكس (Reflector) المثبت على حامل بشكل جيد ومناسب بنفس اتجاه خط النظر الحالي بحيث يقترب أو يبتعد عن محطة PC إلى أن تصبح قراءة المسافة الأفقية على شاشة جهاز المحطة الشاملة مساوية لطول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الأولى أو بالوتد الأول والمساوي في مثالنا الحالي 7.11m كذلك بالنسبة للنقطة الثانية أو الوتد الثاني نتابع لف المنظار باتجاه تقدم العمل حتى نقرأ المقدار المساوي لزاوية الانحراف الكلية للنقطة الثانية (أي "2 '8 °1) ثم يجري تحريك العاكس نفسه باتجاه خط النظر الحالي للجهاز إلى أن تصبح قراءة المسافة الأفقية على شاشة جهاز المحطة الشاملة مساوية لطول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الثانية أو الوتد الثاني والمساوي هنا 37.11m . وكذلك الحال بالنسبة للنقطة التاسعة أو الوتد التاسع، لمزيد من التوضيح ، كي يتحدد موقعها لابد أن تكون قراءة الزاوية الأفقية "02 '33 °7 وقراءة المسافة الأفقية على شاشة الجهاز 246.40m ، الشكل (11-37) ، وهكذا دواليك بالنسبة لبقية نقاط المنحنى .

ملحوظات :

1 - لحساب زوايا الانحراف لغايات توقيع المنحنى باستخدام أجهزة المحطة الشاملة وحيث أن مقدار العد الأصغر لمثل هذه الأجهزة هي عادة بضع ثوانٍ أو حتى "1، فإن زاوية الانحراف الجزئية (d_1) الخاصة بالوتد الأول أو النقطة الأولى من المنحنى تصبح مساوية :



الشكل 11-37 المثال رقم 11-8

$$d_1 = D_a \times c_1 = (1^\circ\ 50')(7.11) = 13'\ 02''$$

أو

$$d = \frac{1}{2}(\frac{7.11}{30})(1^\circ\ 50') = 13'\ 02''$$

أما زوايا الانحراف الجزئية d الخاصة بالنقاط أو الأوتاد الوسطى (الوتد الثاني ولغاية الوتد الحادي عشر (2through 11) فتكون مساوية :

$$d = D_a \times c = (1^\circ\ 50')(30) = 55'\ 00'$$

أو

$$d = \frac{1}{2}(\frac{30}{30})(1^\circ\ 50') = 55'\ 00''$$

وأخيراً فإن زاوية الانحراف الجزئية (d_2) الخاصة بالنقطة أو الوتد الأخير من المنحنى (نقطة الـ PT) تساوي :

$$d'_2 = D_a \times c_2 = (1° \; 50')(19.44) = 35' \;\; 38''$$
$$d' = \frac{1}{2}(\frac{19.44}{30})(1° \; 50') = 35' \;\; 38''$$

وعليه تكون زوايا الانحراف الكلية الخاصة بكل وتد أو نقطة من نقاط المنحنى كما هو مبين في العمود الخامس من الجدول رقم (2-11) لاحظ أن زاوية الانحراف الكلية الخاصة بالوتد الأخير (PT) من المنحنى تساوي $9° \; 58' \; 40''$ وهذا المقدار يساوي نصف زاوية انحراف المماسين ، أي :

$$\Delta / 2 = (19° \; 57' \; 20'') / 2 = 9° \; 58' \; 40''$$

2 – لحساب أطوال الأوتار لغايات تحديد المنحنى باستخدام أجهزة المحطة الشاملة فإنه يتم حساب طول الوتر بين نقطة التماس الأولى PC ، بافتراض أنها محطة تثبيت الجهاز،وبين كل نقطة من نقاط المنحنى وذلك باستخدام العلاقة : $Lc = 2R. \sin d_t$ حيث ترمز (Lc) إلى طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة المعنية من المنحنى (R) ترمز إلى نصف قطر المنحنى ، في حين ترمز (d_t) إلى زاوية الانحراف الكلية الخاصة بنفس النقطة . على سبيل المثال يكون طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة الأولى أو الوتد الأول مساوياً :

$$Lc_1 = 2R \sin d_{t_1} = (937.57) \sin 0° \; 13' \; 02'' = 7.11m$$

جدول 11-2 طريقة ترتيب المعلومات في دفتر الحقل لغايات توقيع المنحنيات الأفقية الدائرية باستخدام أجهزة المحطات الشاملة (Total Station)

Point No. رقم المحطة	Chord Length (m) طول الوتر	Station (m) المحطة	Partial Deflection Angle زاوية الانحراف الجزئية	Total Deflection Angle to the Nearest 1" زاوية الانحراف الكلية
PT	324.90	1669.44	0° 35′ 38″	09° 58′ 40″
11	305.74	1650.00	0° 55′ 00″	09° 23′ 02″
10	276.10	1620.00	0° 55′ 00″	08° 28′ 02″
9	264.40	1590.00	0° 55′ 00″	07° 33′ 02″
8	216.62	1560.00	0° 55′ 00″	06° 38′ 02″
7	186.80	1530.00	0° 55′ 00″	05° 43′ 02″
6	156.93	1500.00	0° 55′ 00″	04° 48′ 02″
5	127.01	1470.00	0° 55′ 00″	03° 53′ 02″
4	97.07	1440.00	0° 55′ 00″	02° 58′ 02″
3	67.09	1410.00	0° 55′ 00″	02° 03′ 02″
2	37.11	1380.00	0° 55′ 00″	01° 08′ 02″
1	7.11	1350.00	0° 13′ 02″	00° 13′ 02″
PC	00.00	1342.00	0° 00′ 00″	0° 00′ 00″

ويكون طول الوتر الكلي الخاص بالنقطة التاسعة أو الوتد التاسع ، لمزيد من الوضوح ، مساوياً :

$$L_{c_9} = 2R \sin d_{t_9} = 2(937.57)(\sin 7°\ 33'\ 02'') = 246.40m$$

3 - يمكن أيضاً حساب إحداثيات نقاط المنحنى (حيث تشكل أركان مضلع يبتدىء بالمماس الأيسر وينتهي بالمماس الأيمن) واستخدام جهاز المحطة الشاملة في توقيع نقاط المنحنى وقد جرى شرح للمضلعات وتطبيقات جهاز المحطة الشاملة في مضلعين مستقلين سابقين يمكن الرجوع إليهما عند الحاجة .

مثال 9-11:

يراد توقيع منحنى دائري موصول بمنحنيين لولبين مماسهما متســــاويين (Equal-Tangent Spiraled Circular Curve) وفقاً للمعطيات التالية وباستخدام جهاز المحطــة الشاملة (Total Station) :

زاوية التقاطع :	$\Delta = 20°$
محطة زاوية التقاطع :	Station of PI = 510.62 m
درجة المنحنى وفق التعريف القوسي :	$D_a = 4°$
طول المنحنى اللولبي	$L_s = 100m$

المطلوب :

- حساب المجاهيل X , Y, s, X_o, T_s, and E_s (Parameters)
- حساب محطات النقاط الرئيسة –TS, SC, CS, and ST
- حساب زوايا الانحراف اللازمة لتوقيع المنحنى اللولبي .

الحـــل : (انظر الأشكال من 11-38 إلى 11 -41):

أ – حساب زاوية المنحنى اللولبي (الزاوية المركزية للمنحنى اللولبي (Spiral Angle :

$$\Theta = \frac{L_s\, D_a}{60}$$

$$\Theta = \frac{100 \times 4}{60} = 6.666667° = 0.116355 \text{ radian}$$

ب – حساب الإحداثيات X , Y :

$$X = 100\,[1 - \frac{(0.116355)^2}{5(2!)} + \frac{(0.116355)^4}{9\,(4!)} - ......] = 99.86\text{m}$$

$$Y = 100\,[\,\frac{(0.116355)}{3} + \frac{(0.116355)^3}{7\,(3!)} + \frac{(0.116355)^5}{11\,(5!)} - ......] = 3.80\text{m}$$

جـ – حساب نصف قطر المنحنى الدائري (R) :

$$R = \frac{1718.87}{D_a} = \frac{1718.87}{4} = 429.72 \text{ m}$$

د . حساب (X_o) :

$$X_o = X - R \sin\Theta = 99.86 - 429.72\ \sin 6.6666667° = 49.97 \text{ m}$$

هـــ - حساب الإزاحة(s) :

$s = Y - R(1-\cos\Theta) = 3.87 - 429.72\,(1-\cos 6.666667^\circ) = 0.96$ m

و - حساب طول المماس الكلي (T_s):

$T_s = Xo + (R + S)\tan\Delta/2 = 49.97 + 429.72 + 0.96)\tan 10^\circ = 125.91$m

ز - حساب (E_s) :

$$E_s = (R+S)\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) + S$$

$$E_s = (429.72 + 0.96)\left(\frac{1}{\cos 10^\circ} - 1\right) + 0.96 = 7.60\text{m}$$

ح - حساب الزاوية المركزية المقابلة للمنحنى الدائري $(\Delta - 2\Theta)$:

$(\Delta - 2\Theta) = 20^\circ - 2\,(6.666667^\circ) = 6.666666^\circ$

ط - طول المنحنى الدائري (L) :

$$L = \frac{\pi R(\Delta - 2\Theta)}{180} = 50.00\text{m}$$

أو :

$$L = \frac{(\Delta - 2\Theta)}{D_a}(30) = \left(\frac{6.666666}{4}\right)(30) = 50.00\text{m}$$

ي - حساب محطات النقاط الرئيسية (TS, SC, CS, and ST) :

* محطة زاوية التقاطع ...... Station (PI) = 510.62 m

* محطة نقطة تماس المنحنى اللولبي المقارب مع الجزء المستقيم الأول (المماس الخلفي) :

Station (TS) = Station (PI) - T_s
Station (TS) = 510.62 -125.91 = 384.71m

* محطة نقطة تقاطع المنحنى اللولبي المقارب مع المنحنى الدائري :

Station (SC) = Station (TS) + L_s
Station (SC) = 384.71 + 100 = 484.71m

* محطة نقطة تقاطع المنحنى الدائري مع المنحنى اللولبي المغادر :

Station (CS) = Station (SC) + L
Station (CS) = 484.71 + 50 = 534.71m

* محطة نقطة تماس المنحنى اللولبي المغادر مع الجزء المستقيم الثاني (المماس الأمامي):

Station (ST) = Station (CS) + L_s
Station (ST) = 534.71 + 100 = 634.71m

ك - حساب زوايا الانحراف اللازمة لتوقيع المنحنى اللولبي : دعنا نفـــترض أن توقيـــع المنحنى اللولبي في الحفر سيتم من خلال تحديد مواقع عدد من النقاط تتباعد عـــن بعضها بما لا يتجاوز 40/ ، أي 10.74 = 429.72/40 فليكن التباعد بين النقاط عشرة أمتار ، أي :

$$\frac{L_s}{10} = \frac{100}{10} = 10\,m$$

وعليه :

$$\ell_1 = 10m\,,\ell_2 = 20m\,,\ell_3 = 30m\,........,\ell_{10} = 100m$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\frac{y_1}{x_1}\,,\alpha_2 = \tan^{-1}\frac{y_2}{x_2}\,........,\alpha_{10} = \tan^{-1}\frac{y_{10}}{x_{10}}$$

حيث :

$$x_1 = \ell_1\,[1 - \frac{\delta_1^{\,2}}{5(2!)} + \frac{\delta_1^{\,4}}{9(4!)} - ....]$$

$$y_1 = \ell_1[\frac{\delta_1}{3} - \frac{\delta_1^{\,3}}{7(3!)} + \frac{\delta_1^{\,5}}{11(5!)} - ....]$$

وهكذا نستمر حتى x_{10} , y_{10} .

دعنا الآن نحسب قيم δ المختلفة :

$$\delta_1 = (\frac{\ell_1}{L_s})^2\ \Theta = (\frac{10}{100})^2\ (0.116355) = 0.001164 \text{ radian}$$

$$\delta_2 = (\frac{\ell_2}{L_s})^2\ \Theta = (\frac{20}{100})^2\ (0.116355) = 0.004654 \text{ radian}$$

$$\delta_3 = (\frac{\ell_3}{L_s})^2\ \Theta = (\frac{30}{100})^2\ (0.116355) = 0.010472 \text{ radian}$$

$\delta_4 = 0.018617$ rad. $\quad \delta_5 = 0.029089$ rad

$\delta_6 = 0.041888$ rad. $\quad \delta_7 = 0.057014$ rad

$\delta_8 = 0.074467$ rad $\quad \delta_9 = 0.094248$ rad

$\delta_{10} = 0.116355$ rad.

وعليه فإن قيم الإحداثيات x,y لنقاط المنحنى اللولبي العشر تكون على الشكل التالي :

$$x_1 = 10[1 - \frac{(0.001164)^2}{5(2!)} + ...] = 10 \text{ m}$$

$$y_1 = 10[\frac{0.001164}{3} - \frac{(0.001164)^3}{7(3!)} + ...] = 0.003878 \text{ m}$$

$$x_2 = 20[1 - \frac{(0.004654)^2}{5(2!)} + ...] = 20 \text{ m}$$

$$y_2 = 20[\frac{0.004654}{3} - \frac{(0.004654)^3}{7(3!)} + ...] = 0.031028 \text{ m}$$

$$x_3 = 30[1 - \frac{(0.010472)^2}{5(2!)} + ...] = 30.00 \text{ m}$$

$$y_3 = 30[\frac{0.010472}{3} - \frac{(0.010472)^3}{7(3!)} + ...] = 0.104719 \text{ m}$$

$$x_4 = 40[1 - \frac{(0.018617)^2}{5(2!)} + ...] = 40.00 \text{ m}$$

$$y_4 = 40[\frac{0.018617}{3} - \frac{(0.018617)^3}{7(3!)} + ...] = 0.24818 \text{ m}$$

$$x_5 = 50[1 - \frac{(0.029089)^2}{5(2!)} + ...] = 50.00 \text{ m}$$

$$y_5 = 50\,[\frac{0.029089}{3} - \frac{(0.029089)^3}{7\,(3!)} + ...] = 0.484783 \text{ m}$$

$$x_6 = 60\,[1 - \frac{(0.041888)^2}{5\,(2!)} + ...] = 59.99 \text{ m}$$

$$y_6 = 60\,[\frac{0.041888}{3} - \frac{(0.041888)^3}{7\,(3!)} + ...] = 0.837651 \text{ m}$$

$$x_7 = 70\,[1 - \frac{(0.057014)^2}{5\,(2!)} + ...] = 69.98 \text{ m}$$

$$y_7 = 70\,[\frac{0.057014}{3} - \frac{(0.057014)^3}{7\,(3!)} + ...] = 1.330017 \text{ m}$$

$$x_8 = 80\,[1 - \frac{(0.074467)^2}{5\,(2!)} + ...] = 79.96 \text{ m}$$

$$y_8 = 80\,[\frac{0.074467}{3} - \frac{(0.074467)^3}{7\,(3!)} + ...] = 1.985005 \text{ m}$$

$$x_9 = 90\,[1 - \frac{(0.094248)^2}{5\,(2!)} + ...] = 89.92 \text{ m}$$

$$y_9 = 90\,[\frac{0.094248}{3} - \frac{(0.094248)^3}{7\,(3!)} + ...] = 2.82\,56\,33 \text{ m}$$

$$x_{10} = 100\,[1 - \frac{(0.116355)^2}{5\,(2!)} + ...] = 99.86 \text{ m}$$

$$y_{10} = 100\,[\frac{0.116355}{3} - \frac{(0.116355)^3}{7\,(3!)} + ...] = 3.874749 \text{ m}$$

وبناء على القيم السابقة تكون قيم زوايا الانحراف لنقاط المنحنى اللولبي العشر على الشكل التالي :-

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\frac{y_1}{x_1} = \tan^{-1}\frac{0.0039}{10} = 00° \quad 01' \quad 20''$$

$$\alpha_2 = \text{tat}^{-1}\frac{y_2}{x_2} = \tan^{-1}\frac{0.03}{20} = 00° \quad 05' \quad 20.00''$$

$$\alpha_3 = 00° \quad 11' \quad 59.99''$$

$$\alpha_4 = 00° \quad 21' \quad 19.95''$$

$$\alpha_5 = 00° \quad 33' \quad 19.81''$$

$$\alpha_6 = 00° \quad 47' \quad 59.92''$$

$$\alpha_7 = 01° \quad 05' \quad 19.73''$$

$$\alpha_8 = 01° \quad 25' \quad 19.47''$$

$$\alpha_9 = 01° \quad 47' \quad 59.50''$$

$$\alpha_{SC} = \alpha_{10} = 02° \quad 13' \quad 19.44''$$

أما أطوال الأوتار التي تصل بين نقطة التماس TS وبين كل من نقاط المنحـــنى اللولـــي العشر فهي على الشكل التالي :

$$S_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad , \ s_1 = \sqrt{(10)^2 + (0.01)^2} = 10.00\text{m}$$

$$S_1 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad , \ s_2 = \sqrt{(20)^2 + (0.03)^2} = 20.00\text{m}$$

$$S_3 = \sqrt{(30)^2 + (0.10)^2} = 30.00 \text{ m}$$

$$S_4 = \sqrt{(40)^2 + (0.25)^2} = 40.00 \text{ m}$$

$$S_5 = \sqrt{(50)^2 + (0.48)^2} = 50.00 \text{ m}$$

$$S_6 = \sqrt{(59.99)^2 + (0.84)^2} = 60.00 \text{ m}$$

$$S_7 = \sqrt{(69.98)^2 + (1.33)^2} = 69.99 \text{ m}$$

$$S_8 = \sqrt{(79.96)^2 + (1.99)^2} = 79.89 \text{ m}$$

$$S_9 = \sqrt{(89.92)^2 + (2.83)^2} = 89.69 \text{ m}$$

$$S_{10} = S_{SC} = \sqrt{(99.86)^2 + (3.87)^2} = 99.93 \text{ m}$$

– تعيين عناصر المنحنى الدائري :

سبق أن حسبنا قيمة نصف القطر (R) للمنحنى الدائـــري وكـــانت مســـاوية R:429.72m، كذلك كانت قيمة طول للمنحنى الدائري (L) مساوية :L=50.00m، أما

محطة نقطة تماس للمنحنى اللولبي للمقارب (Approach Spiral) مع المنحنى الدائـــري (أي SC) فكانت مساوية : Station SC = 484.71m .

لحساب زوايا الانحراف لمجموعة من النقاط على المنحنى الدائري وعلـــى أســـاس

،

فلابد أولا من حساب أطوال الأقواس الجزئية الخاصة بهذه النقاط وذلك يكـــون علـــى الشكل التالي :

حيث أن R/20 = 429.72/20 = 21.49m ، لذا يمكن اختيار أطوال للأقـــواس الجزئيـــة لاتتجاوز هذا الطول ولتكن 20 m . وبما أن أول محطة علـــى للمنحـــنى الدائـــري مـــن مضاعفات الـــ 20m وتلي محطة الـــ SC (أي : 484.71m) هي 500m لذا يكون طول القوس الجزئي الأول مساويا : $c_1 = 500\text{-}484.71 = 15.29$ m

أما الأقواس الجزئية فيبلغ طول كل منها : c = 20m

وأخيرا يكون طول القوس الجزئي الأخير (c_2) مساويا للفرق بين محطة الـــ CS وأقـــرب محطة لها على المنحنى الدائري ومن مضاعفات الـــ 20m ، أي :

534.71 - 250 = 14.71 m

c2 = 50 - (15.29) - 1(20) = 14.71 m

أو :

وعليه يكون لدينا قوس جزئي أول (c_1) بطول 15.29m وقوس جزئي أوسط واحد بطول c = 20m و قوس جزئي أخير بطول $c_2 =$ 14.71m . وبهذا يمكن حساب زوايا الانحراف الجزئية على الشكل التالي :

زاوية الانحراف الجزئية الأولى (d_1) :

$$d_1 = D_a \times c_1 = 4° \times 15.29 = 01° \quad 01' \quad 10''$$

أو :

$$d_1 = \frac{1}{2}(\frac{15.29}{30})(4°) = 01° \quad 01' \quad 10''$$

زاوية الانحراف الجزئية الوسطى : $d = 20 \times 4° = 01° \quad 20' \quad 00''$

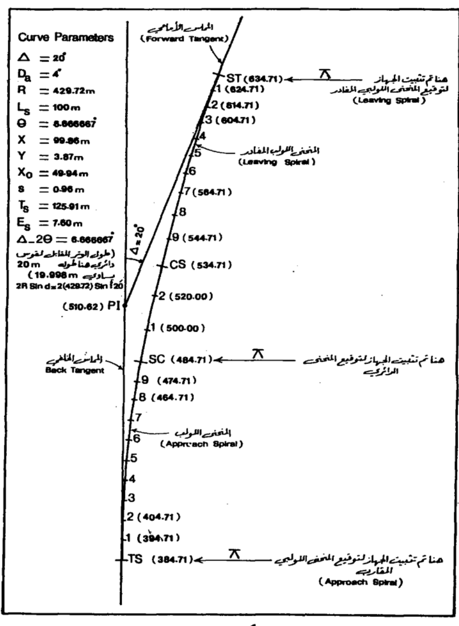
زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة : $d_2 = 14.71 \times 4° = 00° \quad 58' \quad 50''$

أي :

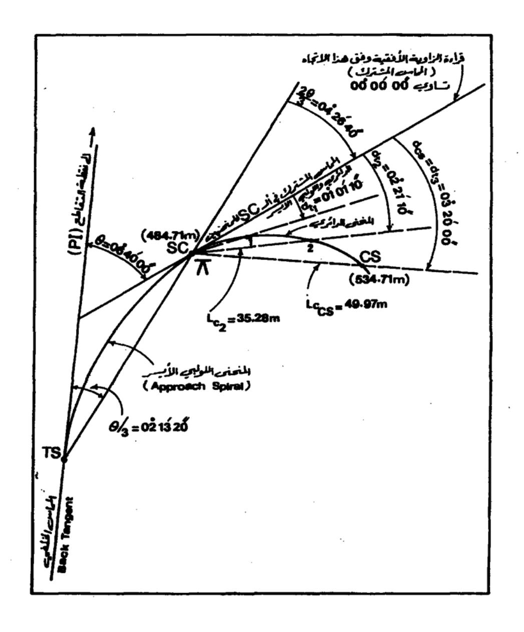
$$d_{t_1} = d_1 = 01° \quad 01' \quad 10''$$

$$d_{t_2} = d_{t_1} + d = 01° \quad 01' \quad 10'' + 01° \; 20' \quad 00'' = 02° \; 21' \quad 10''$$

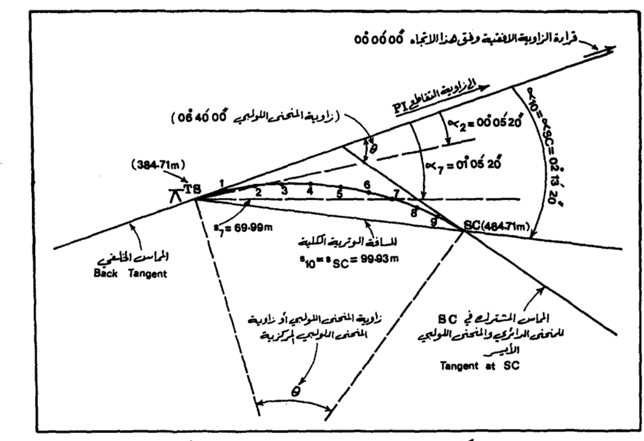
$$d_{t_3} = d_{t_2} + d_2 = 02° \; 21' \quad 10'' + 00° \; 58' \quad 50'' = 03° \; 20' \quad 00''$$



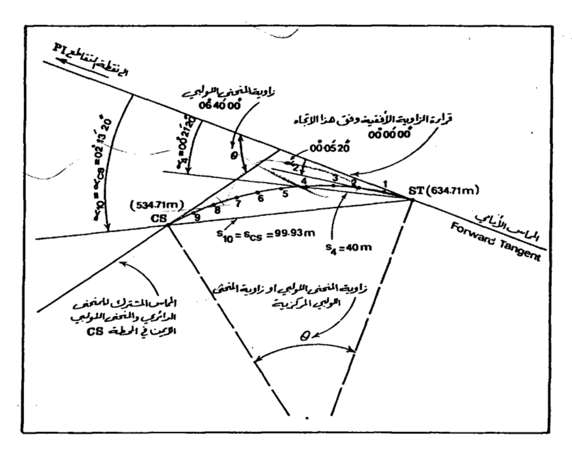
شكل 11 - 38



شكل 11-39توضيح طريقة توقيع المنحنى اللولبي الأيمن (المغادر Leaving Spiral)



شكل 11-40- توضيح طريقة توقيع المنحنى اللولبي الأيسر
(المقارب Approach Spiral)



شكل 11-41 توضيح طريقة توقيع المنحنى الدائري

مثال 11- 10

نقطتان B, C واقعتان على جزئين مستقيمين من طريق مقترح ويـــراد وصلـــهما بمنحنى عكسي لاحظ الشكل (11-42) فإذا كانت زاوية انحراف الاستقامة الثانية عـــن الاستقامة الأولى تساوي ″20 ′35 °40 وزاوية انحراف الاستقامة الثالثـــة عـــن الثانيـــة وطول الضلع BC يساوي 80m ومحطة النقطة B (نقطة التماس الأولى PC) هي 3415.6 m والمطلوب :

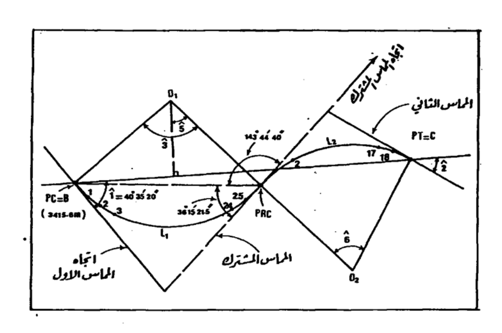
أ – حساب نصف القطر (R) لجزئي المنحنى العكسي .

ب – حساب الزاويتين المركزيتين 3,6 لجزئي المنحنى العكسي .

ج - حساب محطة نقطة التماس للمشتركة PRC (أو نقطة للمنحنى العكسي) .

د - حساب محطة نقطة التماس الثانية PT أي محطة النقطة C .

هـ - بيّن بإيجاز طريقة توقيع جزئي للمنحنى العكسي في الحقل .



شكل 11 - 42

الحل :

أ - نصف القطر (R) :

$$\text{Cos}\,\hat{5} = \frac{1}{2}\ (\text{Cos}\,\hat{1} + \text{Cos}\,\hat{2})$$

$$\text{Cos}\,\hat{5} = \frac{1}{2}\ (\text{Cos}\,40^\circ\ 35'\ 20'' + \text{Cos}\,20^\circ\ 15'\ 42'') = 0.848759$$

$$\hat{5} = 31^\circ\ 55'\ 23''$$

$$R = \frac{BC}{\text{Sin}\,\hat{1}\,\text{Sin}\,\hat{2} + 2\text{Sin}\ \hat{5}}$$

$$R = \frac{80\ \text{m}}{0.6506 + 0.34631 + 1.05756} = 38.939\ \text{m}$$

ب - الزاويتان للمركزيتان $(\hat{3},\hat{6})$:

لدينا $\hat{3} = \hat{1} + \hat{5} = 40° \quad 35' \quad 20'' + 31° \quad 55' \quad 23''$

$\hat{3} = 72° \quad 30' \quad 43''$

$\hat{6} \; \hat{2} + \hat{5} = 20° \quad 15' \quad 42'' + 31° \quad 55' \quad 23'' = 52° \quad 11' \quad 05''$

جـ- محطة نقطة التماس الثانية (PRC) :

لدينا طول الجزء المنحنى الأيسر من المنحنى العكسي L_1 يساوي :

$$L_1 = \frac{\pi R\hat{3}}{180°} = \frac{3.1416 \times 38.94 \times 72° \quad 30' \quad 43''}{180°}$$

وعليه :

$L_1 = 49.280$ m

Chainage of PRC = Chainage of B + L_1

Chainage of PRC = 3415.60 + 49.88 m = 3464.88 m

د - محطة نقطة التماس الثانية (PT أو C) :

لدينا :

$$L_1 = \frac{\pi R\hat{6}}{180°} = \frac{3.1416 \times 38.94 \times 52° \quad 11' \quad 5''}{180°}$$

$L_2 = 35.466$ m

وعليه :

Chainage of PT or C = Chainage of PRC + L_2

Chainage of PT or C = 3464.88 m + 35.466 m = 3500.346

هـ - طريقة توقيع جزئي للمنحنى العكسي :

دعنا أولاً نحسب أطوال الأقواس الجزائية وزوايا الانحراف الجزئية لنقاط من الجزء الأيسر من المنحنى العكسي .

لدينا: $L_1 = 49.28$ m

$R = 38.939 \text{ m} \quad \rightarrow \quad R/20 \cong 2 \text{ m}$

إذن نختار طول القوس الجزئي الأول c_1 بحيث يكمل محطة التماس الأولى على رقم مدور ومناسب وليكن 3416 m وبالتالي يكون لدينا :

$c_1 = 3416 - 3415.60 = 0.4$ m

أما الأقواس الجزئية الوسطى وعددها 24 فأطوالها متســـاوية وتســـاوي c : - c =2m

والقوس الجزئي الأخير وطوله c_2 يساوي :

$c_2 = L_1 - c_1 - nc = 49.28 - 0.4 - 24 \times 2$

$c_2 = 0.88\ m$

أما زوايا الانحراف الجزئية فتحسب من العلاقة :

$$\delta = (1718.873 \times \frac{c}{R})'$$

فبالنسبة لزاوية الانحراف الجزئية الأولى فتساوي :

$$\delta_1 = 1718.873 \times \frac{0.4}{38.939} = (17.65708)' = 0^\circ \quad 17' \quad 39''$$

وبالنسبة لزوايا الانحراف الجزئية الوسطى فتساوي :

$$\delta_2 = \delta_3 = \dots \delta_{25} = 1718.873 \times \frac{2}{38.939} = (88.28542)' = 1^\circ \quad 28' \quad 17''$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية للنقطة الأخيرة تساوي :

$$\delta_{26} = 1718.873 \times \frac{0.88}{38.939} = (38.84559)' = 0^0 \quad 38' \quad 51''$$

ولتحقيق صحة زوايا الانحراف الجزئية نكتب :

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{25} + \delta_{26} = (17.65708)' + 24(88.28542)' + 38.84559'$$

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{25} + \delta_{26} = 36^\circ \quad 15' \quad 21''$$

وهذه القيمة تساوي تقريباً نصف الزاوية المركزية 3 للجزء للمنحنى الأيسر والبالغة $72^\circ\ 30'\ 43''$ حيث :

$$\hat{3}/2 = \frac{72 \quad 30' \quad 43''}{2} = 36^\circ \quad 15' \quad 21.5''$$

والخطأ ($0.5''$) يعود إلى عمليات التقريب الحسابي .

أما بالنسبة للجزء المنحنى الأيمن فلدينا :

$$R = 38.939\ m \quad \rightarrow \quad R/20 \cong 2\ m$$

نختار أيضاً طول القوس الجزئي الأول c'_1 بحيث يكمل محطة نقطة التماس للمشترك PRC على رقم مدور ومناسب وحيث أن محطة نقطة التماس للمشترك PRC وجدناها مساوية 3464.88 m إذن دعنا نختار طولاً للقوس الجزئي c'_1 من للمنحنى الأيمن مساو لـ :

$c_1 = 3466 - 3464.88 = 1.12\ m$

أما الأقواس الجزئية الوسطية c' فأطوالها متساوية ومقدار كل منها 2 m وعددها 17 أي أن $c' = 2\ m$.

وبالنسبة للقوس الجزئي الأخير c'_2 فيساوي :

$$c'_2 = L_2 - c'_1 - nc' = 35.466\ m - 1.12m - 17\ (2m)$$

$$c'_2 = 0.346\ m$$

أما زوايا الانحراف الجزئية فتحسب أيضاً من العلاقة :

$$\delta' = (1718.873 \times \frac{c}{R})'$$

وعليه زاوية الانحراف الجزئية الأولى δ'_1 تساوي :

$$\delta'_1 = 1718.873 \times \frac{1.12}{38.94} = (49.43984) = 0^{0} \quad 49' \quad 26.39''$$

وزوايا الانحراف الجزئية الوسطية δ' تساوي :

$$\delta' = 1718.873 \times \frac{2}{38.939} = (88.28542)' = 1^{0} \quad 28' \quad 17.13''$$

وأخيراً زاوية الانحراف الجزئية الأخيرة δ'_2 تساوي :

$$\delta'_2 = 1718.873 \times \frac{0.346}{38.939} = (15.27338)' = 0^{0} \quad 15' \quad 16.40''$$

ولتحقيق صحة زوايا الانحراف الجزئية نكتب :

$$\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + ...+\delta'_{18} + \delta'_{19} = (49.43984)' + 17\ (88.28542)' + (15.27338)'$$

$$\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + ...+\delta'_{18} + \delta'_{19} = 26^{\circ} \quad 05' \quad 33.92''$$

وهذه القيمة تساوي تقريباً نصف الزاوية المركزية 6 للجزء المنحنى الأيمن والبالغة : 52° 11′ 05″ حيث :

$$\hat{6}/2 = \frac{52^{\circ} \quad 11' \quad 5''}{2} = 26^{\circ} \quad 5' \quad 32.5''$$

والفرق بين القيمتين يساوي ″1.42 وهو أيضاً ناتج عن أعمال التقريب الحسابية ويمكن إهماله .

لتوقيع مختلف نقاط المنحنى العكسي في الحقل نقوم بالخطوات العلمية التالية :

1 - نثبت جهاز الثيودوليت في نقطة التماس الأولى B ثم بعد تمركزه وضبط أفقيته نصفر الزوايا الأفقية باتجاه المماس الأول ونلف المنظار عكس اتجاه دوران عقارب الساعة بزاوية أفقية مقدارها $\delta = 17.65708$ ونضع الشريط عند النقطة B ونمده بشكل أفقي وفق خط النظر الحالي لجهاز الثيودوليت ونغرس وتداً عند التدريج 0.4 m فيكون الوتد بمثابة النقطة 1 من المنحنى ثم نتابع لف المنظار باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة حتى نقرأ على الدائرة الأفقية القيمة .

$$\delta_1 + \delta_2 = (17.65708)' + (88.28542)'$$

$$\delta_1 + \delta_2 = (105.94250) = 1^{\circ} \quad 45' \quad 57''$$

أي في حالة جهاز ثيودوليت يقرأ إلى أقرب $20''$ فتكون عندها القراءة: $1° 46' 00''$

أو نقرأ على الدائرة الأفقية : $360° - 1° 45' 57'' = 385° 14' 03''$

وبالمثل في حالة جهاز ثيودوليت يقرأ إلى أقرب $20''$ تكـــون عندهـــا القـــراءة : $358° 14' 00''$ الآن نضع صفر الشريط عند النقطة 1 التي تم توقيعها على الأرض ونمد الشريط أفقياً ثم نمسك بوتد عند التدريج المعـــادل لــ2m ونحرك الشريـــط يميناً ويساراً إلى أن يتقاطع مع خط النظر عند التدريج 2 m فنغرس الوتد في الأرض ليكون بمثابة النقطة 2 من المنحنى العكسي وهكذا دواليك بالنسبة لجميع النقـــاط الوسطى كما مرّ معنا في بحث المنحنيات الدائرية البسيطة والمركبة ، أما بالنســـبة لتوقيع النقطة الأخيرة من الجزء الأيسر من المنحنى العكسي أي لتوقيع نقطة التماس المشترك PRC فإننا نتابع لف المنظار باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة حـــتى تصبح قراءة الدائرة الأفقية مساوية:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 ... + \delta_{25} + \delta_{26} = 36° 15' 20''$$

أو :

$$360° - 36° 15' 20'' = 323° 44' 40''$$

ثم نمسك بصفر الشريط عند النقطة 25 والتي من المفروض أن يكون قد تم توقيهعا ثم نشد الشريط بشكل أفقي ونمسك بوتد عند التدريج 0.88 m ونحرك الشريـــط يميناً أو يساراً حتى يتقاطع الشريط مع خط النظر عند التدريج 0.88 m وعندهـــا نغرس الوتد في الأرض وبشكل رأسي ليكون بمثابة النقطة الأخيرة من الجزء الأيسر من المنحنى العكسي أو نقطة التماس المشتركة PRC، انظر الجدول رقم (11-3) .

2 - الآن وبعد أن تحددت نقطة التماس المشتركة ننقل جهاز الثيودوليت إلى النقطـــة PRC وبعد تمركزه وضبط أفقيته نوجه المنظار باتجاه نقطة التمـــاس الأولى (B) ثم نصفر الزوايا الأفقية ونلف المنظـــار باتجـــاه دوران عقـــارب الســـاعة بمقـــدار $180° - 36° 15' 21.5''$ وتساوي $143° 44' 39.5''$ فيصبح خط النظـــر باتجـــاه المماس المشترك ثم نصفر الزوايا الإفقية من جديد بينما لا يزال خط النظر للجـــهاز باتجاه للمماس المشترك ثم نبدأ بتوقيع نقاط الجزء الأيمن من المنحنى العكســـي تمامـــاً

بنفس الأسلوب المتبع في توقيع نقاط للمنحنى الأيسر، فعلى سبيل المثال لتوقيع النقطة $1'$ من هذا الجزء الأيمن نلف المنظار بمقدار الزاوية $\delta_1' = (49.43984)'$

ثم نضع صفر الشريط عند نقطة التماس المشتركة نشد الشريط أفقياً وفق خط النظر ونغرس بشكل رأسي في الأرض وتداً عند التدريج 1.12 m فيكون بمثابة النقطة الأولى 1 من الجزء الأيمن للمنحنى العكسي ثم نتابع لف المنظار حتى يقرأ المقدار :

$$\delta_1' + \delta_2' = (49.43984)' + (88.28542)' = 2°\ 17'\ 43.52''$$

وعملياً تقرأ $2°\ 17'\ 40$ (إذا كان الجهاز يقرأ إلى أقرب "10 أو20) ثم نضع صفر الشريط عند النقطة 1 ونمط الشريط أفقياً ونضع وتداً عند التدريج 2m وعندها نغرس الوتد وبشكل رأسي في الأرض ليكون بمثابة النقطة $2'$من الجزء الأيمن للمنحنى العكسي وهكذا وبنفس الأسلوب أي في كل مرة نلف المنظار بقيمة إضافية مقدارها $(88.28542)'$ ونضع صفر الشريط عند آخر نقطة تم توقيعها على الأرض ونمد الشريط بشكل أفقي ونحركه يميناً ويساراً حتى يتقاطع مع خط النظر عند التدريج 2 m وعندها نغرس وتداً جديداً في الأرض وهلم جرا حتى إذا ما أردنا توقيع آخر نقطة من المنحنى العكسي ألا وهي نقطة التماس الثانية PT أو النقطة C وجب أن تكون قراءة الدائرة الأفقية مساوية :

$$\delta_1' + \delta_2' + \delta_3' + ... + \delta_{17}' + \delta_{18}' + \delta_{19}' = 26°\quad 05'\quad 33.92''$$

وعندها نضع صفر الشريط عند النقطة 18 ثم نمد الشريط أفقياً ونحركه يميناً ويساراً حتى يتقاطع مع خط النظر عند التدريج 0.346m وعندها نغرس وتداً في الأرض وبشكل رأسي عند نقطة التقاطع هذه لتكون بمثابة نقطة التماس الثانية PT أو النقطة C . الجدول رقم (11-3) اللاحق بين كافة المعلومات اللازمة لتوقيع الجزء للمنحنى الأيسر والجدول رقم (11-4) يبين المعلومات الخاصة بتوقيع الجزء للمنحنى الأيمن .

ملحوظة :

يمكن توقيع الجزء الأيمن من المنحنى العكسي بطريقة أخرى وهي أن ننقل الجـــهاز بعد تثبيت الجزء الأيسر إلى نقطة التماس الثانية PT (أو النقطة C) والمحددة أصلاً ثم منها نوقع هذا الجزء بالطرق المعتادة والتي سبق شرحها أي نوجه المنظـــار باتجـــاه المماس الثاني والاستقامة الثالثة ونصفر الزوايا الأفقية ويكون بعدها اللـــف باتجـــاه معاكس لدوران عقارب الساعة وباتباع الأساليب المشروحة سابقاً .

جدول 11 - 3

النقطة Point No	الوتر Chord (m)	المحطـــة Chainage (m)	زوايا الانحراف الجزئية Deflection Angles '	زوايا الانحراف الكلية Deflection Angles Total			الزاوية المقروءة علـــــى ثيودوليت يقرأ لأقرب 20" Angle Set on 20" Theodolite		
				°	'	"	°	'	"
PC= B	0	3415.6	. 0	0	0	0	0	0	0
1	0.4	3416.0	17.65708	0	17	39.42	0	17	40
2	2	3418.0	88.28542	1	45	56.54	1	46	0
3	2	3420.0	88.28542	3	14	13.66	3	14	20
4	2	3422.0	88.28542	4	42	30.72	4	42	40
5	2	3424.0	88.28542	6	10	47.90	6	10	0
6	2	3426.0	88.28542	7	39	04.02	7	39	20
7	2	3428.0	88.28542	9	7	21.14	9	7	40
8	2	3430.0	88.28542	10	35	38.26	10	35	0
9	2	3432.0	88.28542	12	3	55.38	12	4	20
10	2	3424.0	88.28542	13	32	12.50	13	32	40
11	2	3436.0	88.28542	15	0	29.62	15	0	40
12	2	3438.0	88.28542	16	28	46.74	16	28	0
13	2	3440.0	88.28542	17	57	03.86	17	57	20
14	2	3442.0	88.28542	19	25	20.98	19	25	40
15	2	3444.0	88.28542	20	53	37.10	20	53	0
16	2	3446.0	88.28542	22	21	45.22	22	22	20
17	2	3448.0	88.28542	23	50	11.34	23	50	40
18	2	3450.0	88.28542	25	18	28.46	25	18	40
19	2	3452.0	88.28542	26	46	45.58	26	46	0
20	2	3454.0	88.28542	28	15	02.70	28	15	20
21	2	3456.0	88.28542	29	43	19.82	29	43	40
22	2	3458.0	88.28542	31	11	36.94	31	11	0
23	2	3460.0	88.28542	32	39	54.06	32	40	20
24	2	3462.0	88.28542	34	8	11.18	34	8	40
25	2	3464.0	88.28542	35	36	28.30	35	36	20
PRC	0.88	3446.88	88.84559	39	15	19.04	36	15	20

جدول 11 - 4

النقطة Point No	الوتر Chord (m)	المحطـــة Chainage (m)	زوايا الانحراف الجزئية Deflection Angles '	زوايا الانحراف الكلية Deflection Angles Total °	'	"	الزاوية المقروءة علـــى ثيودوليت يقرأ لأقرب 20" Angle Set on 20" Theodolite °	'	"
PC= B	0	3464.88	0	0	0	0	0	0	0
1'	1.2	3466.00	49.43984	0	47	26.39	0	49	20
2'	2	3468.88	88.28542	2	17	43.52	2	17	40
3'	2	3470.00	88.28542	3	49	0.65	3	46	0
4'	2	3472.00	88.28542	5	14	17.78	5	14	20
5'	2	3474.00	88.28542	6	42	34.91	6	42	40
6'	2	3476.00	88.28542	7	10	51.04	8	11	0
7'	2	3478.00	88.28542	8	39	17	9	39	0
8'	2	3480.00	88.28542	9	7	26.30	11	7	20
9'	2	3482.00	88.28542	11	35	43.43	12	35	40
10'	2	3484.00	88.28542	12	4	00.56	14	4	0
11'	2	3486.00	88.28542	14	32	17.69	15	32	20
12'	2	3488.00	88.28542	15	0	34.82	17	0	40
13'	2	3490.00	88.28542	17	28	51.95	18	29	0
14'	2	3492.00	88.28542	19	57	8.08	19	57	0
15'	2	3494.00	88.28542	21	25	25.21	21	25	20
16'	2	3496.00	88.28542	22	53	42.34	22	53	40
17'	2	3498.00	88.28542	24	22	00.47	24	22	0
18'	2	3500.00	88.28542	25	50	17.60	25	50	20
C'	0.346	3500.346	15.27338	26	5	33.73	26	5	40

مســــائل

1-11 لماذا نحتاج إلى المنحنيات الأفقية وبالتالي تغيير مســـار الطريق من وحيد الاتجـــاه إلى متعدد الاتجاهات .

11 - 2 ما هي الاعتبارات الأساسية (أهمها) التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار محور الطريق (تحديد أجزائه المستقيمة ومــن ثم نقـــاط التقـــاطع Points of Intersections) ؟

11 - 3 ما هي القاعدة الأساسية التي يمكن (بشكل عام) اتباعها لتجنـــب التكـــاليف الباهظة الناجمة عن زيادة حجم الأعمال الترابية ؟

11 - 4 ما الذي تنصح به بشأن خصائص منحنيات الوصل الأفقية في مشاريع الطـــرق الرئيسة ؟

11 - 5 هل تتساوى ، بشكل عام، أنصاف الأقطار المستخدمة في الطرق مــــع تلـــك المستخدمة في مشاريع خطوط السكك الحديدية ؟ ولماذا ؟

11 - 6 ما هي الغاية الأساسية من استخدام مختلف المنحنيات المتدرجة ؟

11 - 7 لديك المعلومات التالية :

محطة أو تدريج نقطة التقاطع Chainage of (PI) (m)	زاوية الانحراف أو التقاطع (Δ) "	'	°	نصف القطر (m)	رقم المنحنى
1516.28	48	12	70	225	1
2618.66	17	10	65	275	2
3919.23	46	18	58	325	3

المطلوب إيجاد تدريج أو محطة كل من نقطتي التماس الأولى والثانية لكل مــــن المنحنيات الثلاثة علماً بأن التدريج المعطى لمحطات التقاطع (PIs) يعبّر عن قياس المسافات التراكمية دون إدخال المنحنيات (مرحلة ما قبل تصميم المنحنيات).

11- 8 نفس المطلوب في المسألة (11-7) ونفس المعطيات ولكن على أساس القيم التالية لدرجات المنحنيات الثلاثة ووفق التعريف القوسي (30m) :

المنحنى رقم (1) : $7^\circ \; 38' \; 22''$

المنحنى رقم (2) : $6^\circ \; 15' \; 02''$

المنحنى رقم (3) : $5^\circ \; 17' \; 20''$

9-11 المطلوب إعداد جدول بالمعلومات اللازمة لتوقيع المنحنى الدائري رقم (1) الوارد في المسألة رقم (11-7) .

10-11 جزءان مستقيمان من طريق مقترح يتقاطعان في نقطة محطتها أو تدريجها(3464.38m) وينحرفان عن بعضهما بزاوية(θ) مقدارها($58^\circ \; 17' \; 32''$)،يراد وصلهما بمنحنى دائري نصف قطره (R) يساوي (200m) ويتصل من طرفيه بمنحنيين متدرجين حلزونيين مكعبين (Two Cubic Spiral Transition Curves) علماً بأن السرعة التصميمية (V) تساوي (80 km/hr) وأن معدّل التغير في التسارع القطري على طول كل من المنحنيين المتدرجين (a) يساوي ($0.4 m/Sec^3$) . المطلوب إعداد جداول المعلومات اللازمة لتوقيع المنحنيات الثلاثة في الطبيعة .

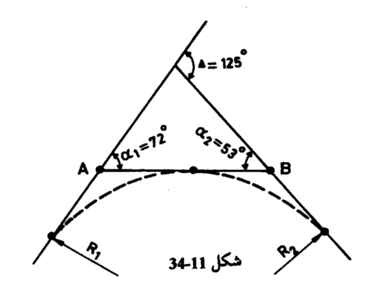
11-11 خطان مستقيمان من طريق مقترح يتقاطعان في نقطة محطتها (6660m) وينحرفان عن بعضهما بمقدار: $\Delta = 125^\circ$ وهناك مستقيم ثالث يقطعهما في النقطتين (A) و(B) ويشكل معهما زاويتين مقدارهما (شكل 11-34) $\alpha_1 = 72^\circ \; , \alpha_2 = 53^\circ$. يراد وصل المستقيمات الثلاثة بمنحنى مركب نصف قطر المنحنى الدائري الأيسر: $R_1 = 350$ m ونصف القطر المنحنى الدائري الأيمن: $R_2 = 250$m

المطلوب عمل جدول بمختلف المعلومات المطلوبة لتوقيع هذا المنحنى المركب في الطبيعة .

12-11 لديك المعطيات (أو المدلولات Data) التالية :

* سمت (Whole Circle Bearing or Azimuth) للماس الأيسر :

Az. $11^\circ \; 20' \; 15''$



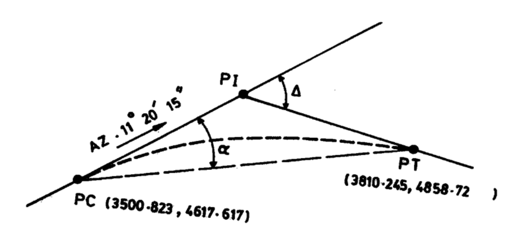
شكل 11-34

* سمت المماس الأيمن : Az. 59° 56′ 05″

* نصف قطر للمنحنى الدائري R = 500 m

المطلوب : حساب مساحة القطاع الدائري (Sector) المحصور بين نصفي القطر والقوس الدائري .

11-13 لديك المعلومات المدونة على الشكل (11-35) التالي ، والمطلوب حساب مقدار زاوية الانحراف (Δ) .



شكل 11- 35

11-14 ماذا نعني بالنقاط الرئيسية على طول خط محور مشروع طريق معين (مقترح)؟

11-15 هل نستطيع دائماً رؤية أو الوصول إلى أو تثبيت نقطة تقاطع مماسي المنحنى الأفقي؟ أذكر أمثلة ، وكيف يجري في مثل هذه الحالة تثبيت (أو توقيع) نقاط البدايات والنهايات للمنحنيات الأفقية المتعددة ؟

11-16 أذكر أهم فائدتين رئيستين لاستخدام نقاط المضلعات الجانبية المحاذية لمحور الطريق .

11-17 ما هي الجهات التي تقوم عادة بتصميم وتنفيذ مشاريع الطرق ؟

11-18 بالاستعانة بالشكل (11-36) التالي، المطلوب إنجاز العمليات التالية :

أ - حساب الاتجاه الدائري الكلي (Azimuth) لكل من المماسين الأيسر والأيمن للمنحنى الدائري الأول (الأيسر).

ب - حساب مقدار زاوية انحراف مماسي المنحنى الدائري الأول (Δ_1) .

ج - حساب طول الوتر الطويل للمنحنى الأول .

د - حساب طول المنحنى الدائري الأول وطول مماسه .

هـ - حساب المسافات بين نقاط التماس باستثناء المنحنيات .

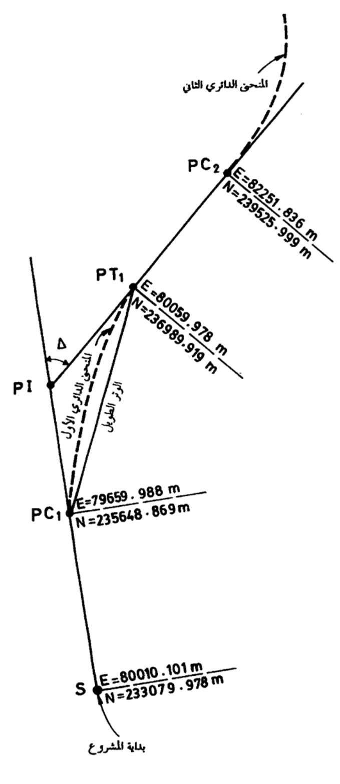
11-19 بالاستعانة بالشكل (11-37) التالي، المطلوب حساب مقدار الفرق بين طول المنحنى الدائري ووتره .

11-20 بالاستعانة بالشكل (11-38) التالي، المطلوب حساب إحداثيات نقطة التقاطع (PI) علماً بأن نصف قطر المنحنى (R) يساوي (1200m) .

11-21 هل تصلح الإحداثيات المستوية (المحلية) لغايات تخطيط ودراسات وتنفيذ مشاريع الطرق ؟ ولماذا ؟ وما نوع الإحداثيات التي تستخدم عادة ؟

11-22 ما الفرق بين المتر الجيوديسي والمتر المستوى ؟

11-23 أيهما أطول المسافة الجيوديسية أم المسافة الأفقية المستوية (القياسية الموجودة على الطبيعة ؟ وما هي العلاقة بينهما ؟



المنحنى الدائري الثاني
PC2
E=82251.836 m
N=239525.999 m
PT1
E=80059.978 m
N=236989.919 m
Δ
PI
المنحنى الدائري الأول
الوتر الطويل
PC1
E=79659.988 m
N=235648.869m
S
E=80010.101 m
N=233079.978 m
بداية المشروع

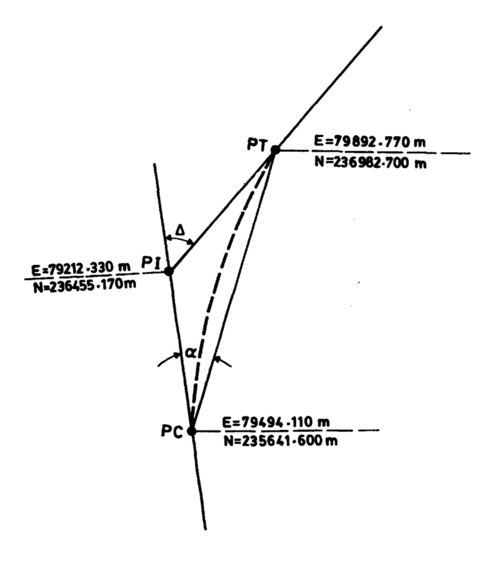
شكل ,11-36

24-11 إذا علمت أن مقدار عامل للقياس في موقع معين من مشروع طريـــق يســـاوي 1.000655 ويراد توقيع مسافة بين نقطتين (A) و(B) إحداثياتهما :

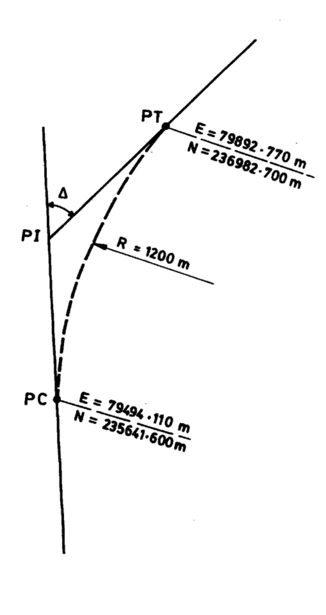
$X_A = E_A = 6740.658\ m \quad , \quad Y_A = N_A = 8126.742\ m$

$X_B = E_B = 6892.725\ m \quad , \quad Y_B = N_B = 8314.514\ m$

المطلوب حساب المسافة التي يتوجب قياسها على الطبيعة عند تثبيت أو توقيـــع إحدى النقطتين من الأخرى (بالرصد والقياس).



شكل 37-11


PT
E = 79892·770 m
N = 236982·700 m
Δ
PI
R = 1200 m
PC
E = 79494·110 m
N = 235641·600 m

شكل11 - 38

25-11 نقطتان (A) و (B) ، إحداثيات (A) :

$E_A = X_A = 6740.658$ m , $Y_A = N_A = 8126.742$ m

والاتجاه الدائري الكلي (Azimuth) للخط الواصل بينهما (α_{AB}) يساوي :

$39° \quad 00' \quad 08''$ والمسافة الأفقية المستوية بينهما (المقيسة علـــى الطبيعــة) تساوي 241.467m ، المطلوب حساب إحداثيات النقطة (B) الجيوديســية علماً بأن عامل المقياس في منطقة القياس (حيث توجد (A) و(B)) يســاوي : 1.000655 .

26-11 كيف يتم ، واستناداً إلى ماذا، توقيع أو تثبيت مسار الطريــق الأفقــي علــى الطبيعة؟

27-11 اعمل كروكي لجزء من محور طريق يوضح النقاط الرئيسة منــه بالإضافــة إلى نقاط المساحة الجيوديسية الرئيسة (التي هي جزء من شبكة الإحداثيات العامة) والفرعية (التي هي في الغالب نقاط مضلعات تم تأسيسها اســتناداً إلى نقــاط المثلثات المرجعية) التي تؤسس وتجسد في الميدان لغايات تحديد مواقع النقــاط الرئيسة وغير الرئيسة من محور الطريق .

28-11 بعد أن يتم حساب الإحداثيات وكافة المعلومات الأخرى الضروريــة الخاصــة بالنقاط الرئيسة (بداية المشروع ، نهاية المشروع، بدايات ونهايــات المنحنيــات الأفقية، النقاط الممثلة للمنحنيات الأفقية المختلفة) للمسار الأفقي للطريق، كيف يتم الآن نقل هذا المسار من المخططات إلى الطبيعة؟ أذكــر في هــذا الصــدد تسلسل الخطوات الميدانية اللازمة .

29-11 نقطتان مساحيتان فرعيتان (1) و (2) ، إحداثياتهما :

$X_1 = 6740.658$ m , $Y_1 = 8126.741$m
$X_2 = 6892.725$ m , $Y_2 = 8314.514$m

هما الأقرب إلى نقطة رئيسة من محور طريق (S) إحداثياته :

$X_s = 6412.333$m , $Y_s = 7913.444$m

المطلوب حساب القيم اللازمة لتحديد موقع النقطة (S) وكذلك شرح تسلسل الخطوات الميدانية اللازمة بشأن تحديد موقع النقطة (S) على الطبيعة علماً بــأن عامل المقياس يساوي (1.000655) .

ملحوظة : يمكن إتباع نفس أسلوب الحل هنا بشأن تعيين مواقع النقاط الرئيسة الأخرى من محور الطريق (وهي جميعها ذات إحداثيات معلومة) ولكن نختار لكل مـــن هذه النقاط النقطتين المرجعيتين الأقرب لها .

30-11 لديك ما يلي :

* إحداثيات نقطة بداية المشروع (S) :

$X_s = 6412.333m \quad , Y_s = 7913.444\ m$

* إحداثيات نقطة مساحية فرعية (1) :

$X_1 = 6740.658\ m \quad , Y1 = 8126.741\ m$

* إحداثيات نقطة التماس الأولى (PC_1) للمنحنى الأفقي الأول :

$X_{PC_1} = 7313.420 \quad , \quad Y_{PC_1} = 7999.001m$

المطلوب حساب القيم اللازمة لتحديد مواقع على الجزء للمستقيم ما بين (S) و (PC_1) تتباعد فيما بينها بمقدار(25) متر جيوديسي وكذلك شـــرح تسلســل الخطوات الميدانية المطلوبة علمـــاً بأن عامل المقياس (Scale Factor) يســـاوي (1.000655) .

ملحوظة : يمكن إتباع نفس أسلوب الحل لو عُرفت إحداثيات نقطة على الجزء المستقيم (S,PC_1) بدلاً من إحداثيات نقطة التماس (PC_1) .

31-11 بين كيف يمكن تحديد موقع نقطة التقاطع (PI_1) لماسي المنحنى الأفقي الأول إذا علمت أن :

$X_7 = 7511.001m \qquad Y_7 = 8151.014m$

$X_{PC_1} = 7313.420m \qquad Y_{PC_1} = 7999.001m$

$X_{PI_1} = 7770.111m \qquad Y_{PI_1} = 8111.004m$

علماً بأن النقطة (7) هي علاقة مساحية فرعية مجاورة وقريبة مـــن (PC_1) وأن عامل المقياس يساوي (1.000655) .

32-11 لديك المعطيات التالية :

* إحداثيات نقطة التماس الأولى (PC_1) وإحداثيات نقطـــة التقـــاطع الأولى (PI_1) وإحداثيات نقطة المساحة الفرعية (7) كما وردت في نـــص المســـألة (31-11) تماماً .

* النقطة (PI_1) غير مرئية من نقطة التماس الأولى (PC_1) .

* زاوية انحراف النقطة الأولى من المنحنى وطول الوتر الجزئي الخاص بها :

$d_1 = 0° \quad 40' \quad 35'' , c_1 = 7.152 \text{ m}$

* زاوية انحراف النقطة الثانية من المنحنى وطول الوتر الجزئي الخاص بها.

$d_1 = 0° \quad 14' \quad 20'' , c_1 = 10 \text{ m}$

* عامل المقياس يساوي : 1.000655

المطلوب : حساب ووصف الخطوات الميدانية اللازمة لتثبيـــت مواقـــع النقطتين (1) و(2) من المنحنى.

33-11 صف بإيجاز كيفية تثبيت أو تجسيد علامات طرفي الطريق .

34-11 كيـــف يمكن حل مشكلة تحديد بعض نقاط أحد جانبي الطريق في المناطـــق المأهولة وحيث لا تسمح طبيعة الأرض بوضع علامات على هذا الجانب ؟

35-11 صف إحدى طرق تجسيد النقاط الممثلة لمحور وجوانب طريق معـــين أثنـــاء مرحلة التنفيذ.

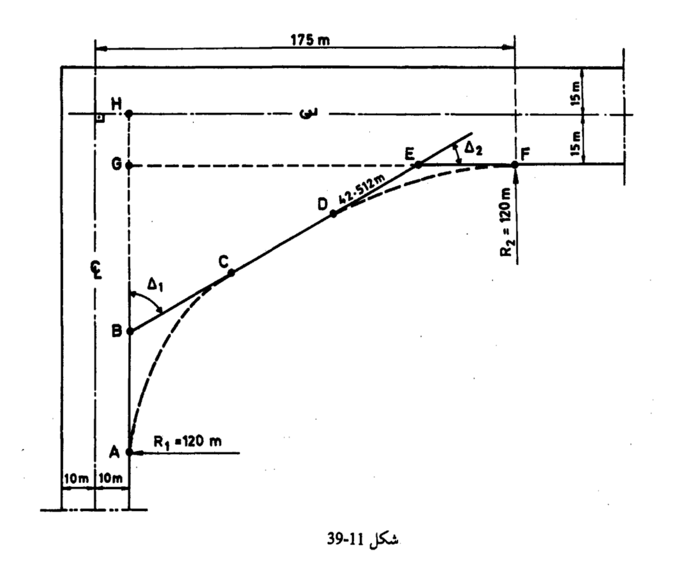
36-11 هل يلزم تثبيت علامات أخرى في الطبيعة إضافة إلى علامات محور الطريـــق وجانبه ؟ ولماذا ؟

37-11 منحنى دائري بطول (198.234m) يمثل جزءاً من دائرة كاملة طول محيطـــها (997.222m) ، المطلوب حساب :

أ – نصف قطر المنحنى الدائري .

ب – طول كل من مماسي المنحنى الدائري .

ج – زاوية الانحراف على المماس لوتر جزئي طوله (20) متراً .


175 m
15 m
15 m
H
G
E
F
Δ_2
D
42.512m
C
Δ_1
B
A
R_1 =120 m
R_2 = 120 m
10m
10m

شکل 39-11

11-38 استناداً إلى المعطيات المبينة على الشكل (11-39) ، المطلوب حساب الأبعاد والزوايا التالية :

أ - طول كل من المنحنيين والوترين الكبيرين .

ب - الزاوية المركزية لكل من المنحنيين .

ج - المسافة (CD) .

11-39 بشكل عام ، كم تكون المسافة بين محطة وأخرى على الأجزاء المستقيمة من محور طريق لغايات تخطيط (تثبيت أو توقيع) هذا المحور في الطبيعة ؟ وكم تكون هذه المسافة في المنحنيات الدائرية البسيطة ؟

11-40 هل من الضروري دائماً استخدام جهاز الثيودوليت في توقيع المنحنيات الأفقية ؟ متى يصبح ذلك من الضروري ؟ ما هو البديل في حالة عدم استخدامه؟

11-41 صف كيف يمكن تخطيط منحنى أفقي في الطبيعة نصف قطره بحدود خمسين متراً .

11-42 هل يلزم دائماً تحديد مركز المنحنى الدائري في الطبيعة؟ متى يصبح ذلك ضرورياً ؟

11-43 هل يلزم دائماً قياس زاوية انحراف المماسين(Δ) للمنحنى الدائري قياساً مباشراً في الطبيعة؟ وهل هناك طريقة أخرى ، ما هي ؟

11-44 منحنى أفقي دائري أيمن (Right Hand Curve) طول نصف قطره (400m) وزاوية انحراف مماسية ($\Delta = 49° \quad 58' \quad 56''$) ، المطلوب حساب كافة العناصر الأساسية بما في ذلك زوايا الانحراف الجزئية ومقدار الفرق بين طول القوس الجزئي ووتره معتبراً (20m) كطول مناسب للأقواس الجزئية (باستثناء القوس الجزئي الأخير الذي يقل عن ذلك).

11-45 كيف يمكن فحص زوايا الانحراف الجزئية (Checking Deflection Angles) الخاصة بنقاط المنحنى الوارد في المسألة (11-44)؟

46-11 ما هي المدلولات (العناصر المعلوماتية ، Data) الأساسية التي يجري تسجيلها عادة بجوار المنحنى الدائري على مخطط الطريق ؟

47-11 ما هي المعلومات الأساسية التي يجب جدولتها وتوفيرها في الميدان لغايات تثبيت منحنى دائري معين ؟

48-11 ارسم كروكي يبين العناصر الأساسية للمنحنى الدائري الوارد في المسألة (11-43) كما يجب أن يظهر على المخطط .

49-11 منحنى حاد (Hard Curve) بنصف قطر قدره (80) متراً وزاوية انحراف (زاوية مركزية) قدرها ("30 '30 °101) وطول كل قوس جزئي (أو الوتر الجزئي على المنحنى) 10متراً ، باستثناء القوس أو الوتر الجزئي الأخير، المطلوب حساب كافة عناصر المنحنى الأساسية والمدلولات التي تمكن من تثبيته في الطبيعة .

50-11 ما هي العلاقة بين قسوة أو حدّة المنحنى الدائري من جهة ومقدار كل من زاوية الانحراف أو التقاطع ونصف القطر لهذا المنحنى من جهة أخرى ؟

51-11 ما هي المعادلة التي تبين العلاقة بين القوة الطاردة المركزية وكتلة العربة ونصف قطر المنحنى وسرعة المركبة ؟

52-11 ما الذي يحصل عندما تعبر مركبة بسرعة معينة منحنى أفقي ؟

53-11 ما الذي يساعد في مقاومة قوة الطرد الأفقية المركزية ؟ وماذا يحصل إذا لم تكن قوة المقاومة كافية ؟

54-11 ما الذي يتوجب عمله لمنع انزلاق وانقلاب العربة أثناء عبورها منحنى أفقي بسرعة معينة ؟

55-11 لماذا يجري عملياً رفع الطرف الخارجي للطريق بمقدار نصف التعلية وخفض الطرف الداخلي بمقدار النصف الآخر بدلاً من التطبيق الكامل للتعلية على طرف واحد (أي برفع الطرف الخارجي أو بخفض الطرف الداخلي بكامل المقدار المحسوب للتعلية)؟

56-11 ما هو مقدار التعلية الواجب تطبيقه على الجزء المنحنى الأفقي علماً بأن نصف قطر هذا المنحنى : $R = 250m$ ، وسرعة المركبة $V = 60\ km/hr$، وعرض الطريق $b = 10m$ ؟

57-11 ما هو مقدار الميل العرضي الواجب تطبيقه على سطح الطريق وفق للمعطيات الواردة في المسألة (56-11) ؟

58-11 ما هو مقدار التعلية الواجب تطبيقه على الجزء المنحنى الأفقي من طريق في ظل المعطيات التالية :

$V = 40\ mph\ ,\ R = 800\ ft$

$b = 10m$ (ترمز b إلى عرض الطريق)

-12 -

الفصل الثاني عشر

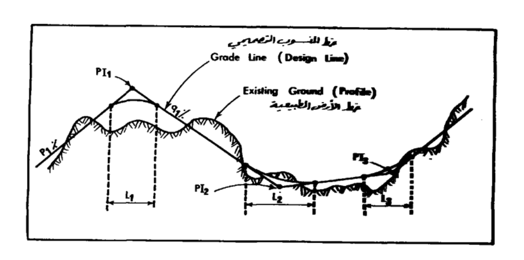
المنحنيات الرأسية

VERTICAL CURVES

12 — المنحنيات الرأسية (Vertical Curves) [م52]

1-12 – مقدمة :

عندما يتقرر شق طريق معين أو خط سكة حديد ، أو ما شابه ذلك من خطـــوط للمواصلات الأرضية المتنوعة ، أو عندما يراد إدخال تحسينا معيناً على خط مواصلات قديم فإنه يصار أولاً إلى رسم المقطع الطولي لسطح الأرض الطبيعية باتجاه محور المشروع قيـــد الدراسة . وبعد ذلك تُجرى الدراسة بشأن المفاضلة بين خط منسوب تصميمي وآخـــر (Grade lines) . الشكل (1-12) يمثل خط المنسوب المقترح المنسوب المنسوب النهائي لخط محور المشروع الذي تعلوه مباشرة مواد الفرشيات والتعبيد المختلفـــة (Surfacing Materials) وهو يمثل أيضاً منسوب سطح التربة (Subgrade) المعد لاستقبال طبقـــات التغطية أو التعبيد (فرشيات وخلطات أسفلتية .. الخ). بعد اختيار خط المنسوب الـــذي هو في الواقع عبارة عن مجموعة خطوط مستقيمة متقاطعة يجري وصـــل كـــل خطـــين متقاطعين (في المستوى الرأسي) ومتتاليين بمنحنى رأسي مناسب . إن اختيار منحنى مـــن نوع معين دون آخرَ يعتمد على عدة أمور ومزايا هندسية معينة وقد وجد ، كما سنرى فيما بعد ، أن المنحنى المكافىء (Parabolic) هو المفضل بشكل عام. كذلك فإن استخدام منحنيات رأسية بمماسين متساويين (Equal- Tangent Parabolic Vertical Curve) لكل منهما هو الأمر الشائع والمفضل أيضاً فيما عدا حالات خاصة ومحدودة .



الشكل 1-12 خط المنسوب التصميمي وخط سطح الأرض الطبيعية ، المقطع الطولي

2-12 العناصر الأساسية للمنحنى الرأسي

لتعيين مختلف العناصر اللازمة لتصميم وتوقيع منحنى رأسي معين ، وبالتالي لتحرير مناسيب عدد مختار وكاف من النقاط الواقعة على المنحنى الرأسي المعتبر، لابد من توافـــر المعلومات التالية بشكل مباشر أو غير مباشر (اشتقاق من عناصر معلومة أخرى) :

- ميول (Gradients) خطوط المناسيب الرأسية المتتالية .
- منسوب نقطة تقاطع كل خطي منسوب متتاليتين (Elevation of the PI).
- محطة نقطة التقاطع لكل خطي منسوب متتاليين (Stationing of the PI) .
- الطول المقترح أو المختار للمنحنى الرأسي وهو عبارة عن المسافة الأفقية بـــين نقطـــتي طرفي المنحنى الرأسي المعتبر (نقطتي التماس BVC, EVC) .

تتحدد ميول خطوط المناسيب اعتماداً على عدة عوامل ، نذكر منها :

- نوع أو صنف الطريق .
- طبيعة الأرض (وعرة ، ومتعرجة ، وسهلية ، ومنتظمة الميل ... الخ).
- تربة الطريق من حيث ثباتها وقوة تحملها .
- ميزانية المشروع والوضع الاقتصادي للبلد.

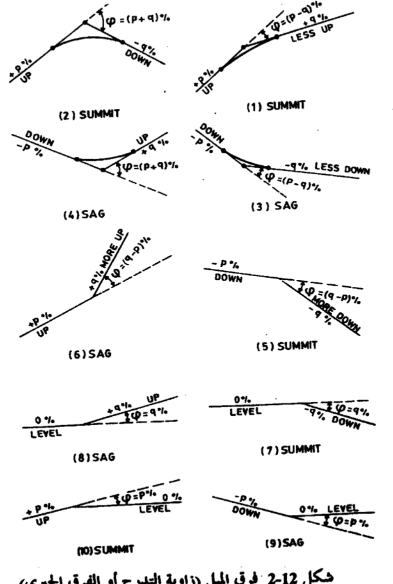
12 - 3 انتقاء المنحنى الرأسي Selection of vertical curve :

هناك العديد من المنحنيات الرياضية التي يمكن استخدامها، منها منحنى القطع المكافىء (Parabola) والمنحنى الدائري (Circular Curve) ومنحنى القطع الناقص (Ellipse).
عندما تكون نسبة طول منحنى الوصل الرأسي (L) إلى طول نصف قطره (R) أصغر من 0.10 (L.R < 0.1) فلن يكون هناك عملياً فرقاً بين منحنى الدائرة منحنى القطع الناقص ومنحنى القطع المكافىء ومع ذلك وعلى الرغم من أنه غالباً ما يتحقـــق هـــذا الشرط إلا أننا نلجأ إلى استعمال القطع المكافىء .

4-12 إشارة الميل وزاوية التدرج (Grade Angle) :

سنصطلح فيما يلي على إشارة الميل فنعتبر أن الخط الذي يعلو جهة اليمين Rising to the Right موجباً والذي ينحدر جهة اليمين Falling to the Right سالباً .

وسنعبّر عن زاوية التدرج (أو فرق الميل) بالفرق الجبري بين الميلين ، وهنا نواجه الحالات الست التالية ، شكل (2-12) .



شكل 2-12 فرق الميل (زاوية التدرج أو الفرق الجبري)

من الشكل (2-12) نلاحظ أنه في الحالتين الأولى والثالثة يكون الماسان باتجـــــاه واحد وبذا يكون فرق الميل هنا مساوياً $(p- q)\%$) بغض النظر عن الإشارة (أي أن كل من q وP تدخل بقيمتها المطلقة) وفي الحالتين الثانية والرابعة يكون الماسات باتجــــاهين مختلفين وبذا يكون فرق الميل أو القيمة الموحدة (Combined Value)لهما مساوياً p + q بغض النظر أيضاً عن الإشارة. كما نطلق على المنحنى الرأسي في الحالتين الأولى والثانيـــة بمنحنى تلاقي (Summit Curve) ونطلق على المنحنى الرأسي في الحالتين الثالثة والرابعـــة بالمنحنى القاعي (Valley or Sag Curve) . نلاحظ من الحالتين الخامسة والسادســـة أن ميل للماس الثاني أكبر من ميل المماس الأول (على عكس الحالتين الأولى والثالثة) وبالتالي فإن مقدار زاوية التدرج يساوي $(q - p)\%$ وليس $(p - q)\%$ كما ورد للحالتين الأولى والثالثة .

5-12 تصميم المنحنى الرأسي (Design of Vertical Curve) :

1-5-12 الطريقة الهندسية ، [م25] [م30] [م38] [م52]

يعرف المنحنى المكافىء من الدرجة الثانية بذلك المنحنى الذي يكون فيه بعــــد أي نقطة منه عن المحرق (F) مساو لبعد هذه النقطة عن مستقيم آخر يوازي محور الســـينات (X-axis) فإذا افترضنا نقطة ما (M) من المنحنى إحداثياها (X,Y) ونقطـــة المحـــرق (F) إحداثياها (P,Q) فإنه بملاحظة الشكل (3-12) يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

$$MF = \sqrt{(X-P)^2 + (Y+Q)^2}$$

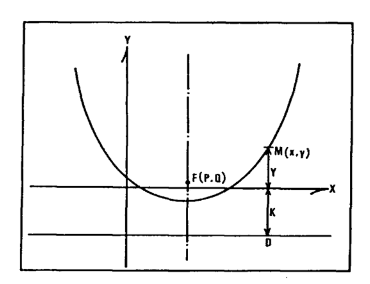
$$MD = Y + K$$

ولكن MF = MD بالتعريف وبالتالي :

$$(X - P)^2 + (Y - Q)^2 = (Y + K)^2$$

$$X^2 + P^2 - 2 X P + Y^2 + Q^2 - 2YQ - Y^2 - K^2 - 2YK = 0$$

$$X^2 - 2p X + P^2 - Y (2Q + 2K) - K^2 + Q^2 = 0$$



الشكل 12-3 المنحنى المكافىء من الدرجة الثانية

$$Y(2Q+2K)=X^2-2PX+P^2+Q^2-K^2$$

$$Y=\frac{X^2}{2(Q+K)}-\frac{PX}{(Q+K)}+\frac{P^2-K^2+Q^2}{2(Q+K)}$$

فإذا رمزنا بـــ

$$\frac{1}{2(Q+K)}=A,\quad \frac{-P}{Q+K}=B,$$

$$\frac{P^2-K^2+Q^2}{2(Q+K)}=C$$

تصبح لدينا معادلة القطع المكافىء على الشكل التالي :

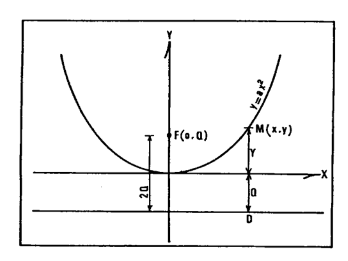
$$Y=AX^2+BX+C \quad \text{...(1-12)}$$

وفي أعمال المنحنيات الرأسية فإنه يلجأ عملياً إلى حالة خاصة في القطع المكـــافىء وهي حالة كون المحرق واقعاً على محور التراتيب Y-axis وكون محور الســـينات مماساً للمنحنى عند نقطة المنتصف وعندها تكون إحداثيات المحرق F هي (Q و0) ومن الشكل (12-4) يمكننا كتابة العلاقات الرياضية التالية :

$$MF = MD$$

وبالتالي :

$$[(X-0)^2+(Y-Q)^2]^{\frac{1}{2}}=Y+Q$$
$$X^2+Y^2-2YQ+Q^2=Y^2+Q^2+2YQ$$
$$X^2=4YQ \quad , \quad Y=X^2/(4Q)$$



شكل 12 - 4 المنحنى المكافئ البسيط

وإذا رمزنا بـــ (a) لـــ 1/(4Q) ، عندها يصبح :

$$Y=a(X^2)\qquad(2-12)$$

12-5-1-1 خواص القطع المكافئ البسيط

(Properties of Simple Parabola)

1 - إذا رسم من نقطة ما (D) على محور السينات مماس للمنحنى كان بعــــد هذه النقطة عن مسقط نقطة التماس على محور السينات مساوياً لبعد النقطة (D) عن نقطة منتصف هذا المنحنى (مبدأ الإحداثيات) أي أن DO = DH.

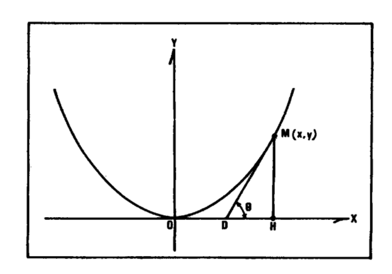
2 - يسمح لنا المنحنى المكافئ البسيط عملياً (وبتقريب مقبول) افترض العناصر لتالية شريطة أن تكون ميول المماسات صغيرة (بحدود 4-5% أو أصغر):

أ - طول المنحنى الرأسي L يساوي مجموع طولي للماسين الخاصين بهذا المنحنى وعليه إذا افترضنا أن طول للماس الخلـــفي أو الأول (First Tangent) يساوي (ℓ_1) وطول للماس الأمامي أو الثاني (2^{nd} TAN) يساوي (ℓ_2) ، فإن :

$$L = \ell_1 + \ell_2$$

ب - وتر المنحنى AB يساوي مســـــقطه الأفقـــي H الشكـــل (6-12)، ويساوي أيضاً مجموع طولي للماسين أي أن: $AB = H = 2\ell = L$

جـــ- طول المماسين ℓ_1 , ℓ_2 متساويين ، $AP = BP = \ell$



شكل 12-5 خواص القطع المكافىء البسيط

البرهان :

بملاحظة الشكل (5-12) وبمعرفة أن معادلة المنحنى هي على الشكل التالي :

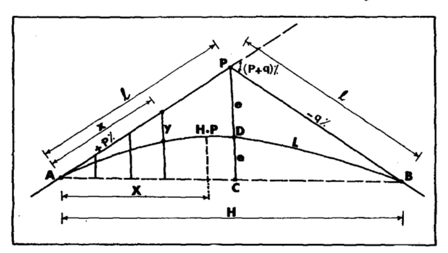
$$Y = a X^2$$

والمشتق بالنسبة لـــ X يساوي : $dy/dx = Y' = 2aX$ ولكن المشتق يساوي أيضاً $\tan \Theta$ ويساوي MH/DH وعليه فإن : $Y' = 2a \ X = MH/DH$ وبتعويـــض $MH=Y$ ، ينتج لدينا :

$$2aX = \frac{Y}{DH} = \frac{a X^2}{DH} = \rightarrow DH = \frac{X}{2}$$

وحيث أن $OD + DH = X$ إذن DO يساوي أيضاً $OD = DH$ وهـــو المطلوب .

د - الخط الرأسي المار من نقطة تقاطع المماسين ينصف الوتر AB ويكون PD = DC =e حيث C نقطة منتصف الوتر و D نقطة تقتطع الخط الرأسي مع المنحنى وهذه النقطة تكون أعلى أو أخفض نقطة من المنحـــنى في حالـــة المنحنيات الرأسية المتناظرة Symmetrical Vertical Curves أي تلك التي يتساوى فيها ميـــلا المماســين وفي حالـــة المنحنيـــات غـــير المتنـــاظرة Unsymmetrical فإن أعلى أو أخفض نقطة من المنحـــنى High Point, H.P, or Low Point, L.P تكون على مسافة أفقية مقدارها X من النقطة A شكل (6-12) وسنحسب مقدار هذه المسافة فيما بعد .



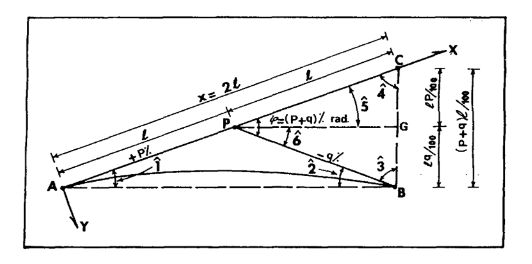
الشكل6-12 عناصر القطع المكافئ البسيط

هـــ- أطوال الأعمدة المأخوذة على المماس تتناسب مع مربعات المسافات المأخوذة أيضاً على المماس مقيسة من A (بالنسبة للمماس الخلفي) أو من B (بالنسبة للمماس الأمامي). وهذا واضح مـــن معادلـــة المنحنى :

$Y = AX^2$ ، أو بالأحرى : $y = ax^2$

2-1-5-12 – تعيين قيم الثابت a في معادلة المنحنى المكافىء البسيط :

أ – حالة كون زاوية الميل φ (Grade Angle) مساوية $\varphi = p + q$ (المماسين في اتجاهين مختلفين) وهذه تنطبق على الحالتين الثانية والرابعة من الشكل 7,3 ولنأخذ فيما يلي الحالة الثانية وهي حالة كون ميل المماس الأول = p % + وميل المماس الثاني q % - ، لاحظ الشكل (7-12) .



الشكل 7-12 تعيين قيمة الثابت (a) في معادلة المنحنى المكافىء البسيط

لنمد المماس الأول AP بمقدار طوله إلى C وبافتراض تساوي المماسين يصبح لدينا: $AP = PB = PC = \ell$ كذلك دعنا نمر محور التراتيب Y Axis بنقطة التماس الأولى A وبحيث يتعامد مع المماس الأول أي يجعل محور السينات X-axis ينطبق على خط المماس الأول كما هو واضح في الشكل 12-7 .

وهنا نلاحظ بسهولة أن :

(AP = PB) $\hat{1} = \hat{2}$

(PC = PB) $\hat{3} = \hat{4}$

وعليه :

$$\hat{2}+\hat{3}=\hat{1}+\hat{4}$$

$$\hat{2}+\hat{3}=\frac{1}{2}(\hat{2}+\hat{3}+\hat{1}+\hat{4})=90^\circ$$

أي أن المثلث ABC قائم الزاوية في B وعليه إذا كانت القيمة المطلقة لميل المماس الأول هي p % والقيمة المطلقة لميل للمماس الثاني q% وإذا قبلنا بتساوي طول PG مع المماس وهذا من وجهة النظر العملية ممكن حيث تكون في الغالب ميول المماسات خفيفة فإن :

$$CG = PG\tan\hat{5} \approx \ell\tan\hat{5}=\frac{p\ell}{100}$$

وكذلك :

$$GB = PG\tan\hat{6} \approx \ell\tan\hat{6}=\frac{q\,\ell}{100}$$

لاحظ أن :

$$\hat{2}=\hat{6}=\frac{q}{100}\text{ radian } \text{ وأن } \hat{1}=\hat{5}=\frac{p}{100}\text{ radian}$$

وعليه فإن :

$$BC = BG + GC = (\frac{p+q}{100}).\ell$$

وعندما تكون ميول المماسات خفيفة كما ذكر آنفاً تكون الزاوية صغيرة وبالتالي $4 = 90^\circ$ أي يقبل بتقريب جيد أن يكون BC متعامداً مع AC أي مع محور السينات وبعبارة أخرى يكون BC ممثلاً لقيمة y المقابلة لقيمة : $x = 2\ell$.

من هنا لإيجاد قيمة الثابت a نعوض في معادلة المنحنى $y = ax^2$ عن قيمة X بـ 2ℓ وعن قيمة y بـ : $(p+q)\ \ell/100$، فيصبح لدينا :

$$(\frac{p+q}{100}).\ell = a\,(2\ell)^2 = 4\,a\ell^2$$

ومنه

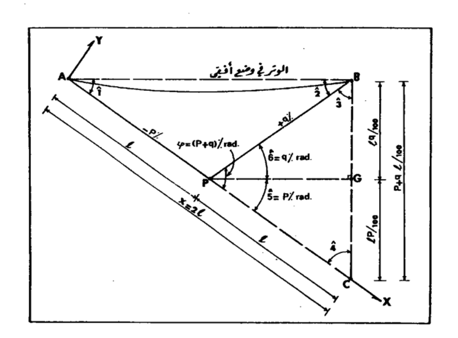
$$a=\frac{p+q}{400\ \ell} \qquad (3-12)$$

ومعادلة المنحنى هي :

$$a = \frac{p+q}{400\ \ell}\ x^2 \qquad (4-12)$$

ملحوظة :

عندما يكون المماسان في اتجاهين مختلفين ولكـــن ميـــــل المـــاس الأول الخلفي سالب وميـــل المماس الثاني الأمامي موجب فيمكن البرهان بـــأن قيمة الثابت هي القيمة المشتقة نفسها في الفقـــرة (12-5-1-2) ، أي أن : $a = (p + q)/400\ \ell$ لاحظ الشكل (12 - 8) .



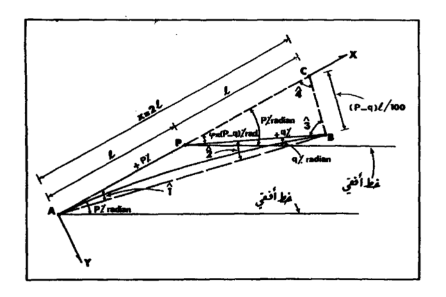
الشكل 12 - 8

هنا أيضاً يمكن بسهولة البرهان على أن $\hat{2} + \hat{3} = 90°$ وأنه أيضاً بافتراض أن $PG = \ell$ (ميول المماسات خفيفة) يصبح $PG = \ell$ فإذا اعتبرنا كمـــا في الحالة السابقة بأن BC يعامد تقريباً محور السينات X - Axis وبالتالي مثلاً

لقيمة y المقابلة : $X = 2\ell$ فإن قيمة الثابت a ستكون أيضـــاً :

$a = (p + q)/400\,\ell$ ، ومعادلة المنحنى هي : $y = \dfrac{p+q}{400\,\ell}\, x^2$.

ب- حالة كون زاوية الميل φ مساوية : $\varphi = p - q$ (المماسين في اتجاه واحد) وهذه تنطبق على الحالتين الأولى والثالثة من الشكل (12-2) ولنـــأخذ الآن الحالة الأولى وهي حالة كون ميل للماس الأول (الخلفي) موجب وميــــل المماس الثاني (الأمامي) موجب أيضاً لاحظ الشكل (12-9) .



الشكل 12 - 9

كما في الحالة - أ - يمكن البرهان بسهولة على أن المثلــــث ABC قـــائم الزاوية في B كما يمكن إهمال قيمة الزاوية 1 بجانب الزاوية 4 وبالتالي اعتبار BC متعامد مع محور السينات X -Axis في النقطـــة C أي أن $\hat{4} = 90^\circ$ وبالتالي فإن :

$$\tan\varphi = \frac{p-q}{100} = \frac{BC}{PC} = \frac{BC}{\ell}$$

ومنه :

$$BC = \ell(\frac{p-q}{100})$$

وحيث أنه افترض بالتقريب أن BC يعامد محور السينات إذن فــهو ممثــل **لقيمة y المقابلة لـ** $x = 2\ell$ أي أن : $x = 2\ell$ وكذلك:

$$y = BC = (p - q)\ell/100$$

وبتعويض هاتين القيمتين في القانون $y = ax^2$ يصبح لدينا .

$$(\frac{p-q}{100})\ell = a(2\ell)^2 = 4a\ell^2$$

ومنه :

$$a = \frac{p-q}{400\ \ell} \qquad (5-12)$$

ومعادلة المنحنى هي :

$$a = \frac{p-q}{400\ \ell}\ x^2 \qquad (6-12)$$

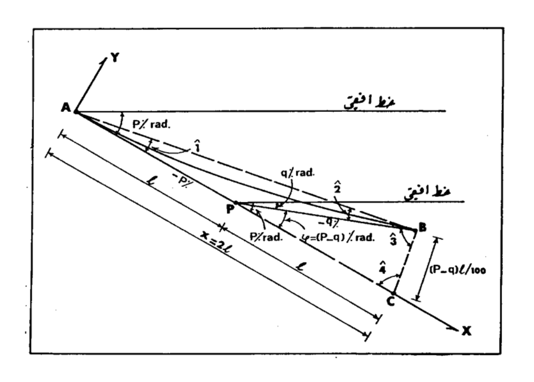
ملحوظة :

عندما يكون الماسان في اتجاه واحد ولكن كلا الميلين بإشارة سالبة لاحظ **الشكل (12-10)** فإنــه أيضا يمكن البرهان على أن $\hat{3} + \hat{2} = 90°$ وأنــه **بافتراض أن الزاويــة** ℓ صغيرة عمليا فإن الزاوية 4 تساوي تقريبا زاويـــة **قائمة وبالتالي فإن** BC يعامد محور السينات في النقطة C ويتبع ذلك :

$$BC = (\frac{p-q}{100})\ \ell$$

أي نفس القيمة المستخرجة في الفقرة – ب – (المماسان موجبان) وأن هذه **القيمة ممثلة لـ (y) المقابلة** لـ $x = 2\ell$ وعليه تكــون قيمـــة الثـــابت a **مساوية أيضا :** $\frac{p-q}{400\ \ell}x^2$

ومعادلة المنحنى هي : $y = \frac{p-q}{400\ \ell}x^2$



Y
A
خط افقي
P% rad.
1̂
q% rad.
2̂
خط افقي
-P%
ℓ
P
-q%
B
P% rad.
φ=(P-q) % rad.
3̂
4̂
(P-q)ℓ/100
x=2ℓ
ℓ
C
X

الشكل 12 - 10

الجدول رقم (12-1) التالي يبين ملخصاً للحالات الست السابقة :

الجدول 12 -1

فرق الميل أو زاوية الميل راديان φ	شكل المعادلة	قيمة الثابت α	إشارة ميل للمماس الثاني q	إشارة ميل للمماس الأول p
(p + q) %	$y=\frac{p+q}{400\ell}x^2$	$\frac{p+q}{400\ell}$	−	+
(p + q) %	$y=\frac{p+q}{400\ell}x^2$	$\frac{p+q}{400\ell}$	+	−
(p - q) %	$y=\frac{p-q}{400\ell}x^2$	$\frac{p-q}{400\ell}$	+	+
(p- q) %	$y=\frac{p-q}{400\ell}x^2$	$\frac{p-q}{400\ell}$	−	−
(q - p) %	$y=\frac{q-p}{400\ell}x^2$	$\frac{q-p}{400\ell}$	+	+
(q - p) %	$y=\frac{q-p}{400\ell}x^2$	$\frac{q-p}{400\ell}$	−	−

أي أن معادلة المنحنى تكتب في حالة كون زاوية الميل (φ) مساوية ((p + q)% radian)

على الشكل :

$$y=\frac{p+q}{400\ell}x^2$$

وفي حالة كون زاوية للميل مساوية : % (p - q) تكتب على الشكل :

$$y=\frac{p-q}{400\ell}x^2$$

وفي حالة كون زاوية للميل مساوية % (q - p) تكتب على الشكل :

$$y=\frac{q-p}{400\ell}x^2$$

ملحوظة :

في كل الحالات السابقة يجب إدخال القيم المطلقة لكل من p , q .

3-1-5-12 : اشتقاق معادلة القطع المكافىء البسيط بدلالة (e)

يلاحظ من الشكل (12-6) أن (e) هي عبارة عن قيمة y المقابلة لـــ $x = \ell$ لذلك سنعوض عن قيمة x في معادلة القطع المكافيء البسيط وفي الحالات الثلاث التالية :

أ - زاوية الميل أو القيمة الموحدة Combined Value تساوي % (p + q) . هنا يكون المماسان باتجاهين مختلفين (إشارة ميل إحداهما موجبة وإشارة ميل الآخر ســــالبة) وبالتالي نطبق المعادلة التالية :

$$y = \frac{p+q}{400\,\ell}x^2$$

وبتعويض : $x = \ell$ ، يصبح لدينا :

$$y = e = \frac{p+q}{400\,\ell}\ell^2$$

$$e = (\frac{p+q}{400})\,\ell \quad \text{.......................}(7-12)$$

وبضرب طرفي المعادلة (12-4) بـــ ℓ^2 يصبح :

$$\ell^2\, y = (\frac{p+q}{400\,\ell})\, x^2\, \ell^2 = (\frac{p+q}{400})\,\ell \quad x^2$$

ولكن من المعادلة (12-7) ، لدينا :

$$e = \frac{p+q}{400}\ell$$

إذن :

$$\ell^2\, y = e\, x^2 \quad , \quad y = e\frac{x^2}{\ell^2}$$

$$y = e\,(\frac{x}{\ell})^2 \quad \text{.......................}(8-12)$$

ب – فرق الميل أو القيمة الموحدة تساوي % (p - q) هنا يكون المماسان باتجـــاه واحد (إشارة كلا الميلين موجبة أو سالبة) وبالتالي تطبـــق المعادلـــة (10-7) حيث :

$$y = \frac{p-q}{400\ell}\, x^2$$

وبتعويض $x = \ell$ يصبح لدينا :

$$y = e = \frac{p-q}{400\,\ell}\quad \ell^2$$

$$e = \frac{p-q}{400}\quad \ell \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9-12)$$

وبضرب طرفي المعادلة (10-7) بـــ ℓ^2 يصبح :

$$\ell^2\, y = \frac{p-q}{400\,\ell}\quad x^2\, \ell^2 = (\frac{p-q}{400})\ \ell\, x^2$$

ولكن من المعادلة (13-7) لدينا :

$$e = \frac{p-q}{400}\quad \ell$$

إذن :

$$\ell^2\ y\ =\ e\, x^2$$

أو :

$$y = e\,(\frac{x}{\ell})^2$$

جـــ- فرق الميل أو القيمة الموحدة تساوي %(q - p) . بطريقة مشابهة للحـــالتين الواردتين في الفقرتين (أ) و (ب) أعلاه يمكن أيضا البرهان على أن معادلة القطع المكافىء البسيط هي على الشكل : $y = e\,(x/\ell)^2$.

وعليه فإنه في جميع الحالات تكون معادلة القطع المكافىء البسيط المســـتخدم هنا في تثبيت المنحنيات الرأسية هي على الشكل $y = e\,(x/\ell)^2$ ولكن مـــع مراعاة النقاط المهمة التالية :

1 – تطبيق هذه العلاقة فقط في حالات الميول البسيطة وينصـــح بـــأن لا تتعدى هذه الميول % 5- 4 .

2 – تكون قيمة e الداخلة في المعادلة(12 - 8) مساوية ℓ ((p + q)/400) في حالة كون المماسين باتجاهين مختلفين أي (+ p,- q) أو (- p, + q)

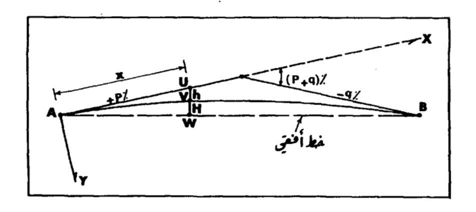
وبعبارة أخرى عندما تكون زاوية التدرج أو القيمـــة الموحـــــدة : . (p + q) %

وتكون مساوية ℓ ((p - q)/400) في حالة كون المماســـين باتجـــاه واحد أي(+ p , + q) أو (- p , - q) وكون زاوية التدرج مساوية (p-q)% وتكون مساوية ℓ ((q – p)/400) في حالة كون المماسين باتجاه واحد أي(+ p , + q) أو -p , - q) وكون زاوية التـــــدرج مساوية (q-p)%

3 - جميع قيم q و p الداخلة في العلاقات السابقة هي قيم مطلقة ، انظـــر الجدول رقم (12 -2) .

4-1-5-12 تحديد موقع أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي :

أ - حالة كون المماسين في اتجاهين مختلفين أي ميل إحداهما سالب وميـــل الآخر موجب . إن موقع أعلى أو أخفض نقطة في حالات المنحنيات الرأسية المتناظرة هو نقطة تقاطع الخط الرأسي المار بنقطـــة تقـــاطع مماسي المنحنى مع الرأسي الشكل (12-11) وفي حالـــة المنحنيـــات الرأسية غير المتناظرة فيمكن تحديد هذا الموقع على الشكل التالي :



الشكل 12 -11 تحديد موقع أعلى أو أخفض نقطة

الجدول 12 -2

إشارة للماس	إشارة للماس الثاني	زاوية الميل% φ	قيمة e	شكل المعادلة
+	−	p + q	$\frac{p+q}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$
−	+	p + q	$\frac{p+q}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$
+	+	p - q	$\frac{p-q}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$
−	−	p - q	$\frac{p-q}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$
+	+	q - p	$\frac{q-p}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$
−	−	q - p	$\frac{q-p}{400}\ell$	$y = e(\frac{x}{\ell})^2$

في الشكل (12-11) لنفرض أن أعلى نقطة من المنحنى الرأسي هي النقطة V وأنها تبعد مسافة أفقية مقدارها x عن نقطة التماس A كذلك لنرمز بـ h للبعد الرأسي بين النقطة U (نقطة على المماس الأول تبعد مقدار x عن نقطة التماس الأولى) والنقطة V من المنحنى الرأسي وبـ H للبعد الرأسي بين النقطة V وبين النقطة W (نقطة تقاطع الخط الرأسي المار بالنقطة V مع وتر للمنحنى الرأسي AB).

لدينا من الشكل (12-11) :

$$UW = h + H = \frac{XP}{100}$$

$$H = \frac{XP}{100} - h$$

إن قيمة h في حالة مماس صغير الميل تتساوى تقريبا مع قيمة y التي تقابل مسافة مقدارها x مأخوذة على محور السينات بدءا من نقطة التماس A وعليه نكتب :

(المماسان باتجاه مختلف)

$$h = y = \frac{p+q}{400\,\ell}\ x^2$$

ومنه :

$$H = \frac{xp}{100} - \frac{p+q}{400\ \ell}\ x^2$$

ولمعرفة قيمة (x) التي تعطي قيمة عظمى لـــ H فإننا نشتق H وبالنسبة لـــ x ثم نعـــدم المشتق وعليه :

$$\frac{dH}{dx} = 0 = \frac{p}{100} - \frac{2x\ \ (p+q)}{400\ \ell}$$

أي أن :

$$\frac{p}{100} = \frac{2x\,(p+q)}{400\ \ \ell}$$

$$x = \frac{2p\,\ell}{q+p}$$

وقد سبق أن ذكرنا أنه في حالة ميول خفيفة للمماسات فإن طول للماس يتساوى تقريبا مع مسقطه الأفقي عمليا ولذا فإن x تساوي تقريبا مسقطها الأفقي X وعليه يكون :

$$x = X = \frac{2p\,\ell}{p+q}$$

وحيث أن طول المنحنى الرأسي L يفترض عمليا بأنه يساوي 2ℓ إذن يصبح لدينا :

$$X = \frac{pL}{p+q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10-12)$$

ملحوظة :

في الشكل (12-11)كانت إشارة ميـــل للماس الأول موجب وإشارة ميل المماس الثاني سالب ولا يختلف الأمر إذا كان ميل للماس الأول سالبا وميل المماس الثاني موجبا حيث في كلتا الحالتين تكون معادلة للنحنى :

$$y = \frac{p+q}{400\ \ell}\ x^2$$

ب – حالة كون للماسين في اتجاه واحد(أي ميل كلا للماســين موجــب أو كلاهمــا سالب)

الشكل (12-12) .

لا يختلف الأمر هنا سوى أن معادلة المنحنى هي على الشكل :

$$y = \frac{p-q}{400} \quad x^2$$

وبالتالي فإن :

$$h = y = \frac{p-q}{400} \quad x^2$$

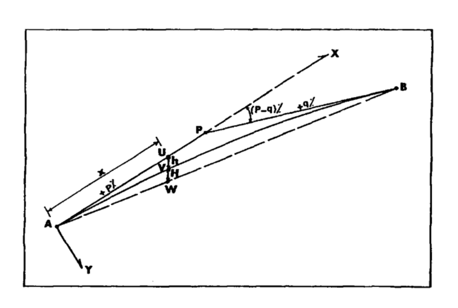
$$H = \frac{xp}{100} - \frac{p-q}{400} \quad x^2$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{p}{100} - \frac{2x\,(p-q)}{400}$$

$$\frac{p}{100} = \frac{2x \quad (p-q)}{400}$$

$$x \quad = X = \frac{2p\,\ell}{p-q}$$

$$X = \frac{pL}{p-q} \quad \text{...(11 – 12)}$$



الشكل 12 - 12

ملحوظة :

في الشكل (12-12) كانت إشارة المماسين الأول والثاني موجبة ولا يختلف الأمر أن كانت إشارة للماسين سالبة حيث في كلتا الحالتين تكون معادلـــــة المنحنى .

$$y = \frac{p+q}{400\ \ell}\ x^2$$

جـــ- حالة كون ميل المماس الثاني أكبر من ميل المماس الأول بالقيمة المطلقـــــة،

أي: $\rho = (q - p)\ \%$

في هذه الحالة يكون لدينا :

$$y = \frac{q-p}{400\ \ell} x^2$$

$$h = y = \frac{q-p}{400\,\ell} x^2$$

$$H = \frac{x \cdot p}{100} - \frac{q-p}{400\ \ell} x^2$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{p}{100} - \left(\frac{q-p}{400\ \ell}\right) 2x = 0$$

$$\frac{p}{100} = 2\,x \left(\frac{q-p}{400\ \ell}\right)$$

$$x = X = \frac{2p\,\ell}{q-p}$$

$$X = \frac{p \cdot L}{q-p}$$

الجدول رقم (12-3) يبين ملخصا لما ذكر سابقا :

الجدول 12 - 3

إشارة الميل للمماس الأول	إشارة الميل للمماس الثاني	البعد الأفقي x بين أعلى أو أخفض نقطة وبين نقطة التماس الأولى
+	−	$X = \frac{pL}{p+q}$
−	+	//
+	+	$X = \frac{pL}{p-q}$
−	−	//
+	+	$X = \frac{pL}{q-p}$
−	−	//

12-5-2 الطريقة التحليلية في اشتقاق معادلة المنحنى المكافئ، [م33] [م52]

نلاحظ من الشكل (12-13) أنه عند نقطة التماس الأولى (BVC) يكون لدينا :

$x = o \ , \quad y = h_{BVC}$

حيث تمثل (y) منسوب نقطة بداية المنحنى الرأسي (BVC) .

ومن المعادلة (12 -1) يكون لدينا بعد التعويض عن (x) بـ (o . o) :

$y = ax^2 + bx + c$

$y = a(o.o) + b(o.o) + c = o.o$

وعليه فإن الثابت c في معادلة المنحنى المكافئ يمثل منسوب نقطة بداية المنحنى h_{BVC} ، أي تصبح المعادلة (12 - 1) :

$$y = ax^2 + bx + \text{Elevation of BVC} \quad \text{.............................(12-12)}$$

وبإيجاد المشتق الأول لـ y بالنسبة لـ x في المعادلة (12-12) يصبح لدينا

$$\frac{dy'}{dx} = 2ax + b \quad \text{..(13-12)}$$

حيث أن ميل المنحنى الرأسي عند نقطة بدايته ($x = 0$) يساوي p ولأن هـــذا الميل (p) يساوي أيضا للمشتق الأول لمعادلة المنحنى الرأسي في النقطة $x = 0$ ، لذا فإنه بالتعويض عن x بـــ صفر في المعادلة (12-13) يصبح لدينا :

$$\frac{dy}{dx} = b = p$$

وبالتالي تصبح المعادلة (12-1) على الشكل التالي :

$$y = ax^2 + px + h_{BVC} \quad \text{...} (14\text{-}12)$$

ولنأخذ الآن المشتق الثاني لـــ y بالنسبة لـــ x في المعادلة (12 - 13) :

$$\frac{dy^2}{dx^2} = 2a \quad \text{..} (15 - 12)$$

إن هذا المشتق الثاني يمثل معدل التغير (Rate of Change) في المنسوب وهـــو، أي معدل التغير، كما هو واضح من المعادلة (12-15) الذي يكون ثابتـــا (2a) وهذا ما يميز المنحنى للكافىء ويجعل استخدامه في تصميـــم مســـارات الطـــرق والسكك الحديدية أمرا محبذا .

كما هو مبين في الشكل (12-13) فإن مجموع التغير في الميل هو مقدار الفـــرق بين ميل المماس الثاني q وميل المماس الأول p ، أي q - p ومعدل هذا التغـــير لكل متر طولي على طول المنحنى الرأسي الذي طوله 2ℓ يساوي : $\frac{q-p}{2\ell}$.

وعليه يكون :

$$\frac{dy^2}{dx^2} = 2a = \frac{q-p}{2\ell}$$

$$a = \frac{q-p}{4\ell}$$

وبالتعويض عن قيم كل من a, b, c, في المعادلة (12-14) يصبح لدينـــــا :

$$y = \frac{q-p}{4\ell}x^2 + px + h_{BVC} \quad \text{..} (16 - 12)$$

وهذه هي معادلة المنحنى للكافىء الرأسي بمماسين متساويين

(Equation of the Equal - Tangent Parabolic Vertical Curve)

حيث :

* منسوب النقطة المعتبرة ولتكن P من المنحنى الرأسي (المنسوب النهائي) : ...y

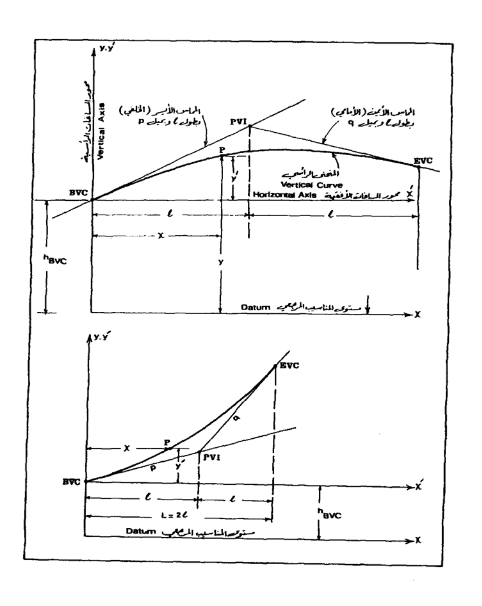
* المسافة الأفقية بين النقطة المعتبرة (P)من المنحنى الرأسي (أي نقطة على المنحـــنى الرأسي) ونقطة التماس الأولى BVC (نقطة بداية المنحنى الرأسي):.......... x

* ميل (Gradient) المماس الأيسر (الخلفي) مع أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار وعليه فإن p = + 2% تعني ارتفاع (Rise) المنسوب بمقدار 2m لكل مســــافة أفقية مقدارها : 100m أما p = - 2% فتعـــني انخفـــاض (Drop or Fall) في المنسوب بمقدار : 2m لكل مسافة أفقية مقدارها 100m .... p

* ميل المماس الأيمن (الأمامي) (Forward Tangent) مع أخذ الإشارة الجبرية بعين الاعتبار : .... q

* منسوب نقطة التماس الأولى h_{BVC} منسوبة إلى مستوى مناسيب مرجعي معين: h_{BVC} ....

● طول كل من المماسين الأمامي والخلفي للمنحنى الرأسي ويساوي نصف المسافة الأفقيـــة بين طرفي المنحنى الرأسي (نقطتي (BVC, EVC) : .... ℓ



شكل 12 ـ 13 المنحنى المكافىء الرأسي في إطار محاور الإحداثيات المستطيلة – الطريقة التحليلية

ملحوظات :

1 - يُعَـدُّ المنحـنى المكافئ (Parabola) من أكثر المنحنيات استخداماً (شيوعـاً) في وصل خطوط المناسيب (Grad Lines) لمشاريع الطرق والسكك الحديدية وذلك نظراً لـ(أ) سهولة حساب المناسيب لنقاطه المختلفة و(ب) ثبات معدل التغير في مناسيب نقاطه المتتابعة .

2 - يقاس طول المنحنى الرأسي على أساس مسقطه الأفقي (Along the Horizontal).

3 - باعتبار أن p هـو ميل للماس الخلفي و q هو ميل للماس الأمامي (الأمامي يعـني هنا أنه باتجاه تزايد المحطات Direction of Stationing) فإن (q-p) يُعَدُّ مجموع التغير في الميل (Total Change in Grade) والمقدار $(q - p)/2\ell$ يمثل معدل التغير في الميل لكل متر طولي باعتبار أن 2ℓ يساوي طول المنحنى الرأسي بالمتر الطولي.

4 - إذا أريد وصل خطي منسوب معينين بمنحنى رأسي وكان معـدّل التغـير، q - p معلوماً فيمكن عندها حساب طول المنحنى الرأسي والعكسي صحيح .

3-5-12 الميول الرأسية العظمى في الطرق (Maximum Grades) :

من بين العوامل الرئيسة التي تحكم عملية الاختيار للميول الرأسية ، نذكر :

أ - السرعة المعتبرة في التصميم (Design Speed) .

ب - طبوغرافية الأرض التي يخترقها الطريق (Type of Topography) .

ج - طول الجزء الخاضع للميل الرأسي .

د - توازن كميات الحفر مع كميات الردم (ويدخل في ذلك طبيعة التربة).

نبين فيما يلي قيماً عملية للميول الرأسية بـأخذ السـرعة التصميمية وطبوغرافية الأرض بعين الاعتبار مع مراعاة عدم تجاوزها،الجدول رقـم (4 - 12).

وفيما يتعلق بطول الجزء الخاضع للميل الرأسي فإنه لابد من ربط هـذا العامل أيضاً بمقدار الميل الرأسي.وهنا يفضل ، كلما أمكن ذلك ، ألا يتجاوز هذا الطول الحد الذي تضطر معه شاحنة نموذجية مختـارة تخفيـض سرعتها بمقـدار

الجدول رقم 12-4 الميول الرأسية العظمى ، بالمائة، حسب طبوغرافية الأرض والسرعة التصميمية

السرعة التصميمية Design Speed Kph	منبسطة Flat %	تلالية Hilly %	جبلية Mountainous %
50	6	7	9
65	5	6	8
80	4	5	7
90	3	4	6
100	3	4	6
110	3	4	5
120	3	4	-
130	3	4	-

يزيد عن أو يساوي 25 kph تقريباً من سرعتها الاعتيادية على جزء منبسط قبيل صعودها هذا الجزء المائل المعتبر من الطريق . من الطبيعي أن هذا يعتمد على نوع الشاحنات التي تسلك الطريق موضوع التصميم . فيما يلي بعض القيم العملية العظمى لأطوال أجزاء الطريق، الخاضعة للميول الرأسية والتي تتناسب مع ميول رأسية محددة ، انظر الجدول رقم (12-5) .

الجدول رقم (12-5) الأطوال العظمى للأجزاء الخاضعة للميول الرأسية حسب قيم الميول الرأسية

مقدار الميل الرأسي (بالمائة) Upgrade, percent	3	4	5	6	7	8
القيمة العظمى لطول الجزء الخاضع للميل Critical Length of Upgrade,m	500	325	250	175	150	150

في الحالات التي يضطر معها إلى تجاوز القيم العظمى للأطول الـــواردة في الجدول رقم (12-5) أعلاه ، لابد من تعريض هذه الأجزاء من الطريق لضمـــان حركة السير بشكل اعتيادي إضافة إلى إعطاء حرية أكبر في الحركة للشاحنـــات الكبيرة وتوفير إمكانية عزل الشاحنات أو تلك التي تتوقف لعدم القدرة على متابعة السير لسبب أو لآخر .

12-5-4 العوامل المشتركة في اختيار طول المنحنى الرأسي :

من العوامل الأساسية التي تحكم اختيار وتحديد طول المنحنى الرأسي ما يلي:

أ - القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force .

ب - مسافة الرؤية Sight or Vision Distance وهذه تعتمد على سرعة العربة وعلى زمن رد الفعل عند السائق التي تقدر بمعدل 0.75 Sec (الفترة الزمنية التي يحتاجها كي يباشر عملية كبح السيارة أو حرفها بعد رؤيتـــه لحـــاجز متحرك أو ثابت) وكذلك تعتمد على مسافة التوقف (أي المسافة الدنيـــا التي تقطعهـــا السيارة اعتبارا من بدء الشروع في وقفها وحتى تتوقف تماما) وهذه تعتمد بدورها على معامل الاحتكاك لسطح الطريق وكذلك علـــى حالة السيارة الميكانيكية وخاصة حالة فراملها، وأخيرا تعتمـــــد مســـافة الرؤيا على ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق .

وجدير بالملاحظة أن العامل الأول (القوة الطاردة) تلعـــب دورا أساســـيا عندما تكون ميول المماسات خفيفة . أما العامل الثاني (مســـافة الرؤيـــة) فيلعب دورا أساسيا في حالة كون ميول المماسات كبيرة نســـبيا ومختلفـــة الاتجاهات. وفي كل الأحوال فإنه كلما زادت زاوية التدرجGrade Angle أوجب زيادة طول المنحنى لتخفيف معدل التغير في التدرج وعمليا يكـــون المنحنى الرأسي بنصف قطر لا يقل عن 1000m وذلك لدرء المتاعب الـــتي قد تنشأ عن القوة الطاردة . فيما يلي أمثلة لأطوال المنحنيات الرأسية :

- الطرق الثانوية 1000 - 2000 m
- الطرق الرئيسية 2500 - 5000m

- الطرق العريضة 5000 - 10000m
- مهابط المطارات 15000-20000m

ملحوظات :

* عندما تكون زاوية التدرج صغيرة أو سرعة العربة منخفضة يكون طول المنحنى الرأسي المطلوب أصغر من مسافة الرؤية وعليه كلما زادت زاوية التدرج تطلب الأمر زيادة طول المنحنى .
* إن إيجاد طول المنحنى الرأسي هو من صميم موضوع الطرق، وعلى أي حال فإنه في وقتنا الحاضر يؤخذ من جداول معدة خصيصا لهذا الغرض، أخذت في الاعتبار كل العوامل المؤثرة والمشاركة آنفة الذكر .

5-5-12 تهيئة متطلبات توقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة Setting-out data :

لتوقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة يلزم تحضير جداول ومعلومات تحدد مواقع وارتفاعات عدد كاف من النقاط المشكلة للمنحنى الرأسي وقبل البدء في تحضير هذه الجداول لابد من توافر المعلومات التالية ، [م38] [م45] [م52]

أ - طول المنحنى الرأسي Length of the Vertical Curve وهذا بالطبع يتبع عدة أمور ومميزات هندسية سبق الإشارة إليها .

ب - ميول المماسات Gradients of the Intersecting Slopes وتتبع نوع الطريق أو المشروع الهندسي وبالطبع كلما كان مستوى المشروع رقيا قلت ميول المماسات حيث يتبع هذا إمكانية زيادة السرعة وكذا التقليل من إجهاد محرك العربة، وفي الغالب يكون العنصر الأساسي في تحديد ميل المماس هو العامل الاقتصادي، حيث يحاول المهندس المصمم معادلة كميات الحفر مع الردم وعدم تجاوز قدر معين من الميل كي يسهل على العربة والسائق مواصلة السير دون إجهاد محرك العربة وزيادة المحروقات ، وقد سبق أن أشرنا إلى بعض الميول المفضلة لأنواع مختلفة من الطرقات وكذا لمجالات متنوعة من السرعة .

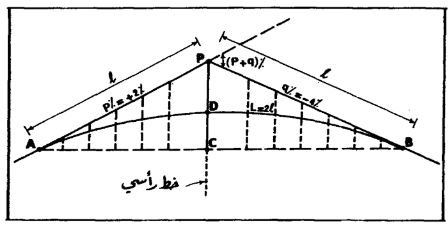
ج - منسوب إحدى النقاط المميزة ، مثلا نقطة تقاطع المماسين ، ونقطة بداية المنحنى الرأسي ، ونقطة نهاية المنحنى الرأسي ... الخ .

مثال 12 - 1 :

حد المعلومات اللازمة لتثبيت منحن رأسي هرمي Summit Curve طوله L=400m بأوتار جزئية مقدارها 20m إذا علمت أن ميل للماس الأول p% =2% وميل الثاني q % = - 4% وأن منسوب نقطة بداية المنحنى الرأسي A هو :

R.L. of A = 1020.24m

لاحظ الشكل (12-14).



شكل 12 - 14

الحل :

Length of Curve : $L = 2\ell = 400$,, $\ell = 200$ m
R.L of A = 1020.24 m
R.L. of P = 1020.24 + (200 x 2)/(100) = 1024.24m
R.L. of B = 1024.24 - (200 x 4)/ (100) = 1016.24m
R.L. of C = (R.L. of A + R.L. of B)/2
R.L. of C = (1020.24 + 1016.24)/2 = 1018.24m
CP = R.L. of P - R.L. of C
CP = 1024.24 - 1018.24 = 6m
e = CP/2 = 6/2 = 3m

أو :

$e = ((p + q)/400)\ \ell$
$e = ((2 + 4)/400) \times 200 = 3m$

لاحظ أن قيمتي q و p دون اعتبار للإشارة :

الآن بتطبيق القانون : $y = e\,(X/\ell)^2$

حيث: e = 3m , x = 20 m, 40m, 60m, ... 200m

لاحظ أنه في نص المسألة يراد تثبيت المنحنى بواسطة أوتار أطوالها 20 m أي أن النقـــاط المأخوذة على كل من المماسين تتباعد عن بعضها البعض 20 m وبالتالي يكون بعد النقطة الأولى على المماس الأول عن نقطة التماس الأولى 20 m والثانية 40 m والثالثة 60 m إلى أن نصل إلى نقطة التقاطع p حيث يكون بعدها عن نقطة التماس A يساوي طول المماس نفسه ويساوي 200m .

فإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي (التباعد بين نقطة وأخرى على المماس) يساوي وحـــدة واحدة أي أن :

Chord Length = 20 m = 1 unit

فإن :

$\ell = 200m = 10$ units

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون أعلاه : $y = e(\frac{x}{\ell})^2$ هي :

x = 1 unit , 2 units , ………….. 10 units

$$y = e(\frac{x}{10})^2$$

وبالتالي :

$$y = 3(\frac{x}{10})^2 = 0.03x^2$$

وعليه نرتب الجدول رقم (6-12) التالي الذي يحدد موقع ومنسوب مجموعة من النقـــاط التي تشكل المنحنى الرأسي المطلوب توقيعه على الطبيعة .

ملحوظات :

1 – لاحظ أنه عند الانتهاء من النقاط المأخوذة على المماس الأول نبدأ بأخذ نقاط على المماس الثاني ولكن تكون قيم x مأخوذة على أساس بعد النقطة عن نقطة التماس الثانية B فمثلا النقطة التي تبعد عن نقطة التماس الأولى (وفق خـــط أو خطـــي التماس 240m تكون على بعد 40 m عن نقطة التقاطع P باتجاه نقطـــة التمـــاس الثانية (B) أي تبعد (400-240) عن B .ملاحظة أن طول كل مـــن المماســـين = 200m وعليه تكون x لهذه النقطة تساوي 160m أي 160/20= 8 units (لاحظ الجدول(6-12) وكذلك لاحظ أن أعظم قيمة لـــx هي: 10 units = (200/20) .

2 – لاحظ أن قيم x تؤخذ وفق خط التماس وإننا نعتبر أن كل مسافة علـــى المـــاس تعادل مـــسقطها الأفقي (حالة الميول الخفيفة) وأن قيم y تؤخذ وفق خطوط رأسية نفترضها متعامدة تقريباً مع خط المماس وهذه الملاحظة تنطبق على كل الحـــالات وكل الأمثلة القادمة .

الجدول رقم 6-12

(1) Chainage (m)	(2) Distance (x)	(3) Offest=y=0.3x^2 (m)	(4) Reduced Level on Tangent (m)	(4)-(3) Reduced level on V.Curve(m)	Remarks
0	0	0.00	1020.24→R.L. of A	**1020.24**	Beginning
20	1	0.03	1020.24 + 0.02 x 20 = **1020.64**	**1030.64-0.03= 1020.61**	of the
40	2	0.12	1020.24+0.02 x 40 =**1021.04**	**1021.04 -0.12= 1020.92**	curve
60	3	0.27	1021.44	**1021.17**	
80	4	0.48	1021.84	**1021.36**	
100	5	0.75	1022.24	**1021.49**	
120	6	1.08	1022.64	**1021.56**	
140	7	1.47	1023.04	**1021.57**	
160	8	1.92	1023.44	**1021.52**	
180	9	2.43	1023.84	**1021.41**	
200	10	3.00=e	R.L. of p= 1024.24	**1021.24(R.L.of D)**	Vertex of the Curve
220	9	2.43	R.L. of p= 0.04×20= **1023.44**	**1021.01**	
240	8	0.03 x (8)^2=1.92	1024.24-0.04×40=**1022.64**	**1020.72**	
260	7	1.47	1021.84	**1020.37**	
280	6	1.08	1021.04	**1019.96**	
300	5	0.75	1020.24	**1019.49**	
320	4	0.48	1019.44	**1018.96**	
340	3	0.27	1018.64	**1018.37**	
360	2	0.12	1017.84	**1017.72**	
380	1	0.03	1017.04	**1017.01**	
400	0	0.00	1024.24-0.04 x 200 =**1016.24** (R.L. of B)	**1016.26**	End of the curve

3 - تؤخذ قيم X بالنسبة لنقاط المماس الأول بدءاً من نقطة التماس الأولى A وتؤخذ قيم X بالنسبة لنقاط المماس الثاني بدءاً من نقطة التماس الثانية B .

حساب موقع ومنسوب أعلى نقطة :

$$X = \frac{PL}{p+q}$$ .... (p , q تدخلان بقيمتيهما المطلقتين)

$$X = \frac{2 \times 400}{2+4} = 133.333\ m$$

أي أن موقع أعلى نقطة (H.P.) من المنحنى الرأسي يبعد عن نقطة التماس الأولى A مقدار 133.333m وبالتالي يبعد عن نقطة التماس الثانية B مقدار 400- 133.333= 266.667 m

الآن لإيجاد منسوب هذه النقطة على المنحنى الرأسي دعنا نحسب منسوبها أولاً على المماس:

$$R.L.\ of\ H.P. = R.L.\ \ of\ A + \frac{133.333 \times P}{100}$$

$$R.L.\ of\ H.P. = 1020.24 + \frac{133.333 \times 2}{100} = 1022.907m$$

لنحسب الآن البعد الرأسي بين هذه النقطة وبين المنحنى الرأسي أي لنحسب منسوب أعلى نقطة على المنحنى لذلك نستخرج أولاً قيمة y التي تقابل X = 133.333m .

$$y = e\left(\frac{X}{\ell}\right)^2 = 3\left(\frac{133.333}{200}\right)^2 = 1.333m$$

R.L.of H.P.on Curve= R.L. on Tangent- y = 1022.907 - 1.333 = 1021.57m

وبالفعل بمراجعة الجدول نلاحظ أن منسوب النقطة التي تبعد مسافة 140m عن نقطة التماس A كان 1021.570m ومنسوب النقطة ذات X = 160 m يساوي 1021.520 أي أن النقطة ذات X = 133.33m هي ذات المنسوب الأعلى ثم يبدأ المنسوب بدءاً منها بالانخفاض تدريجياً .

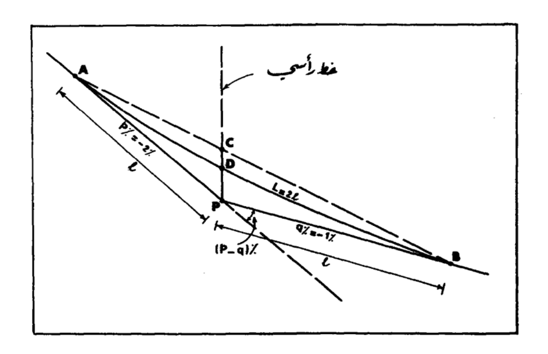
ملحوظة :

يمكن أيضاً تحديد موقع أعلى نقطة (H.P) باستخدام العلاقـــة : X = PL/(p-q)
وذلك بإدخال الإشارة الجبرية لكل من q و p وعليه :

$$X = \frac{2 \times 400}{+2-(-4)} = \frac{800}{0} = 133.333m$$

مثال 12 - 2 :

حد المعلومات اللازمة لتثبيت منحنى رأسي قاعي Sag Curve طوله L = 200m بأوتار جزئية مقدارها 20m إذا علمت أن ميل المماس الأول P % = - 2% وميل المماس الثاني q % = -1% وأن منسوب نقطة تقاطع المماسين PI هو R.L. of P = 1000m ، لاحظ الشكل (12 -15) .



شكل 12 - 15

الحل :

$$\text{Length of the Vertical Curve} = L = 2\,\ell = 200\text{m} \rightarrow \ell = 100\text{m}$$

$$\text{R.L. of A} = \text{R. L of P} + \left(\frac{100 \times 2}{100}\right) = 1000 + 2 = 1002\text{m}$$

$$\text{R.L. of B} = \text{R. L of P} - \left(\frac{100 \times 1}{100}\right) = 1000 - 1 = 999\text{m}$$

$$\text{R.L. of C} = \frac{\text{R.L. of A} + \text{R.L. of B}}{2}$$

$$\text{CP} = \text{R.L. of C} - \text{R. L. of P} = 1000.5\text{ m} - 1000 = 0.5\text{ m}$$

$$\text{R.L. of C} = \frac{1002 + 999}{2} = 1000.5$$

$$e = \frac{\text{CP}}{2} = \frac{0.5\text{ m}}{2} = 0.25\text{ m}$$

أو :

$$e = \frac{p - q}{400}\,\ell$$

$$e = \frac{2 - 1}{400} \times 100 = 0.25\text{m}$$

لاحظ أن قيمتي q و p هنا هي بغض النظر عن الإشارة الجبرية :

الآن بتطبيق القانون :

$$y = e\left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

$$e = 0.25\text{ m}$$

حيث :

$$x = 20\text{m},\ 40\text{m},\ 60\text{m}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ 100\text{m}$$

وإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي (التباعد بين نقطة وأخرى على المماس) يساوي وحـــدة ،

أي أن : $\text{Chord Length} = 1\text{ unit} = 20\text{ m}$

فإن : $\ell = 100\text{m} = 5\text{ units}$

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون أعلاه : $y = e\,(x/\,\ell)^2$ هي :

$x = 1\text{ unit},\ 2\text{ units},\ \ldots\ 5\text{ units}$ وبالتالي :

$$y = e\left(\frac{x}{2}\right)^2 = 0.25\left(\frac{x}{5}\right)^2 = 0.01\quad x^2$$

الجدول رقم (12 - 7) التالي يبين مواقع ومناسيب مجموعة النقاط المشكّلة للمنحنى الرأسي المطلوب توقيعه على الطبيعة .

جدول 12- 7

المحطة أو التدريج (1) Chainage (m)	المسافة مقدرة بالوحدات (2) Distance (x) in units	البعد الرأسي بين المماس والمنحنى الرأسي (3) Offset $y = 0.01\ x^2$ (m)	المنسوب على المماس (4) Reduced Level on Tangent (m)	المنسوب على المنحنى الرأسي (3) +(4) Reduced Level on V. Curve (m)	ملاحظات Remarks
0	0	0	1002.00	1002.0	R.L. of A
20	1	0.01	1002 - (0.02 x 20) =1001.60	1001.60 + 0.01= 1001.61	
40	2	0.04	1002 - (0.02 x 40) = 1001.20	1001.20+0.04 = 1001.24	
60	3	0.09	1000.80	1000.80+0.09 = 1000.89	
80	4	0.16	1000.40	1000.56	
100	5	0.25= e	1000.00→ R.L. of P	1000.25	R.L. of D
120	4	0.16	R.L. of P - (0.01) x20=999.80	999.96	
140	3	0.09	R.L. of P - (0.01) x40=999.60	999.69	
160	2	0.04	999.40	999.44	
180	1	0.01	999.20	999.21	
200	0	0.00	999.00	999.00	R.L. of B

حســـــاب موقــع ومنسوب أخفــض نقطة X and R.L. of Low Point (L.P.)

حيث أن زاوية التدرج في مثالنا هذا تساوي % (p - q)، لاحظ الشكل(12-15)، لذا نطبق العلاقة التالية :

$$X = \frac{pL}{p-q}$$

حيث q و p القيم المطلقة للميول ، وعليه :

$$X = \frac{2 \times 200}{2-1} = 400 \text{ m}$$

وهذه القيمة بالطبع أكبر من طول المنحنى الرأسي بكامله وواضح أنه فيما يتعلق بـــالمنحنى نفسه فإن النقطة ذات المنسوب الأخفض هي النقطة B عينها أي نقطة التمـــاس الثانيـــة وبالنسبة لمنسوبها فقد سبق أن عيناه ويساوي 999.00m .

مثال 12 - 3 :

يراد تصميم منحنى رأسي قاعي Sag Curve طوله L = 250m بأوتـــار جزئيـــة مقدارها 25m إذا علمت أن ميل المماس الأول p % = -3.4% وميل الممـــاس الثـــاني q%= + 2.6 % وأن منسوب نقطة تقاطع المماسين P هو : R.L. of P = 22.60 m

كذلك أوجد منسوب وموقع أخفض نقطة (X and R.L. of Low Point)، شكـــــل (16-12)

شكل 12 - 16

الحـــــل :

Length of the vertical curve : L = 250m $\rightarrow \ell = 125$m

R.L. of A = R.L. of P + (3.4/100) × 125 = 22.60 + 4.25 = 26.85m

R.L. of B = R.L. of P + (3.6/100) × 125 = 22.60 + 3.25 = 25.85m

R.L. of C = (R.L. of A + R.L. of B)/2

R.L. of C = (26.85 + 25.85)/2 =26.35 m

CP = R.L. of C- R.L. of P = 26.35 - 22.60 = 3.75m

e = (CP/2) = (3.75/2) = 1.875 m

أو

$e = ((p + q)/400)\ \ell = ((3.4 + 2.6)/400) \times 125 = 1.875$m

لنرتب الآن الجدول رقم (12-8) التالي بمواقع ومناسيب مجموعة النقاط المشكلة للمنحـــنى الرأسي المطلوب توقيعه في الطبيعة .

لاحظ أن زاوية التدرج للمماسين تساوي % (p + q) وأن قيمتي q و p هنا هي بغـــض النظر عن الإشارة الجبرية .

الآن بتطبيق القانون :

$$y = e\left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

e = 1.875 m

x = 25m, 50m 75m,.........................125m

وإذا اعتبرنا أن كل وتر جزئي يساوي وحدة (unit) واحدة أي أن :

Chord Length = 25m = 1 unit

فإن

ℓ = 125m = 5 units

وعليه تكون قيم x الداخلة في القانون :

هي :

$$y = e\left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

X = 1 unit, 2 units, ... 5 units

وبالتالي :

$$y = e\left(\frac{x}{5}\right)^2 = 1.875 \quad \left(\frac{x}{5}\right)^2 = 0.075 \quad x^2$$

جدول رقم 12 - 8

المحطة أو التدريج (1) Chainage (m)	المسافة المقدرة بالوحدات (2) Distance (x) in units	البعد الرأسي بين المماس والمنحنى الرأسي (3) Offset $y = 0.075\,x^2$ (m)	المنسوب على المماس (4) Reduced Level on Tangent (m)	المنسوب على المنحنى الرأسي (3) + (4) Reduced Level on V. Curve (m)	ملاحظات Remarks .
0	0	0.000	26.850	26.850	R.L. of A
25	1	0.075	26.850-(25 × 3.4/100) = 26.000	26.0 + 0.075= 26.075	
50	2	0.300	26.85 - (50 × 3.4/100) = 25.150	25.15 + 0.30 = 25.450	
75	3	0.675	24.300	24.975	
100	4	1.200	23.450	24.650	
125	5	1.875=e	22.600	24.475	R.L. of D
150	4	1.200	R.L. of P+ (2.6/100 ×25)= 23.250	24.450	
175	3	0.675	R.L. of P+ (2.6/100 × 50)=23.900	24.575	
200	2	0.300	24.550	24.850	
225	1	0.075	25.200	25.275	
250	0	0.000	25.850	25.850	R.L. of B

حساب موقع ومنسوب اخفض نقطة X and R.L. of Low Point (L.P.) :

حيث أن زاوية التدرج في مثالنا هذا تساوي % (p + q)،لاحظ الشكل (15-12)
لذا نطبق العلاقة التالية :

$$X = \frac{pL}{p+q}$$

حيث q و p هي القيم المطلقة للميول بغض النظر عن الإشارة

$$X = \frac{3.4 \times 250}{3.4 \times 2.6} = 141.667m$$

أي تبعد عن نقطة التماس الأولى (A) بمقدار 141.667 m

كذلك يمكن استخراجها من العلاقة :

$$X = \frac{pL}{p = q}$$

مع اعتبار الإشارة الجبرية لكل من q و p وعليه :

$$X = \frac{-3.4 \times 250}{-3.4 - 2.6} = \frac{3.4 \times 250}{6} = 141.667m$$

ولحساب منسوب هذه النقطة دعنا أولاً نحسب منسوبها على المماس ويساوي :

$$R.L.\ of\ L.P. = R.L.\ of\ A - \frac{3.4}{100} \times 141.667$$

$$R.L.\ of\ L.P. = 26.85 - 4.817 = 22.033\ m$$

لنحسب الآن البعد الرأسي بين هذه النقطة على المماس وبين المنحنى الرأسي أي لنحسب منسوب أخفض نقطة من المنحنى لذا نستخرج أولاً قيمة y التي تقابل :

$$X = X = 141.667m$$

$$y = e\left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

$$y = e\left(\frac{141.667}{125}\right)^2 = 1.875\,(1.2844) = 2.408m$$

وعليه يكون

R.L. of Low Point = R.L. on Tangent + y (offset)

R.L. of Low Point = 22.033 + 2.408 = 24.441m

ملحوظة :

إن موقع اخفض نقطة أيضاً يكون على مسافة من نقطة التماس الثانية **B** مقدارها :

250 m - 141.667 m = 108.333 m.

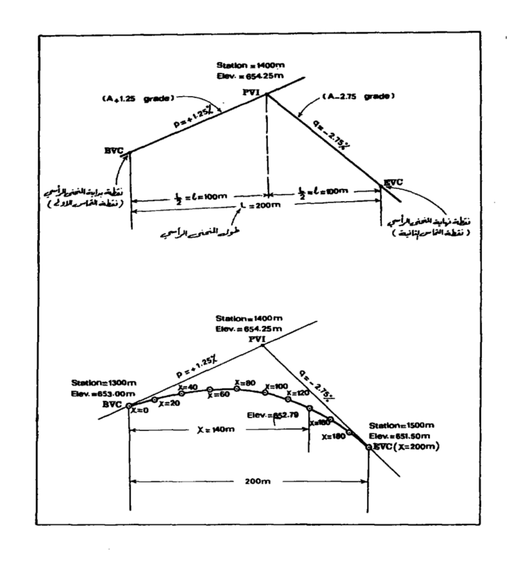
مثال رقم 12- 4 :

إحسب ورتب المعلومات اللازمة لتوقيع منحنى رأسي وفقاً للمعلومـــات التاليـــة بالطريقة التحليلية :

محطة نقطة تقاطع المماسين :	**Station of PVI = 1400m**
منسوب نقطة تقاطع المماسين :	**Elevation of PVI = h_{PVI} = 654.25m**
طول كل من المماسين (أي أن طول المنحنى الرأسي: **200m)**	**ℓ = 100m**
ميل المماس الأيسر :	**P = + 1.25 %**
ميل المماس الأيمن :	**q = - 2.75 %**

الحـــل :

يلزم هنا حساب محطة ومنسوب نقطة بداية المنحنى الرأســـي **(BVC)** وكذلــك محطــة ومنسوب نقطة نهاية المنحنى الرأسي (EVC) . إضافة إلى هاتين النقطتين الهامتين يلزم أيضاً حساب منسوب عـــدد مناسب وكاف من النقاط بينهما وليكن تباعد هذه النقاط 20m، الشكل (12-17) .



الشكل 12 - 17

تسلسل الحسابات يكون على الشكل التالي :

محطة نقطة تقاطع المماسين :	**Station PVI = 1400m**
يطرح طول المماس :	**- ℓ = 0100 m**
ينتج محطة نقطة التماس الأولى :	**Station EVC = 1300 m**
يضاف طول المنحنى الرأسي :	**+ 2 ℓ 0200 m**
ينتج محطة نقطة نهاية المنحنى	**Station EVC = 1500 m**

Elevation of BVC = h_{BVC} = 654.25 - 0.0125 (100) = 653.00m

Elevation of EVC = h_{EVC} = 654.25 - 0.0257 (100) = 651.50 m

x = 20 , 40 , 60 , ..., 180 m , 200m

$$y = \frac{q-p}{4\ell}x^2 + px + h_{BVC}$$

$$y = \frac{(-0.0275 - 0.0125)}{4\,(100)}x^2 + 0.0125\,x + 653.0$$

$$y = -0.0001\ x^2 + 0.0125\ x + 653.00$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (12 - 9) :

ملحوظات :

1 - لاحظ أن معدل التغير في الميل لكل متر طولي من المنحنى الرأسي يساوي :

$$\frac{q-p}{2\ell} = \frac{0.0275 - 0.0125}{2\,(100)} = -0.0002 = -0.02\%\ \text{per metre}$$

2 - لاحظ أن معادلة المنحنى الرأسي لمثل هذه المعطيات في المثال الحالي تكـــون علـــى الشكل التالي :

$$y = -0.0001\ x^2 + 0.125\,x + 653.00$$

3 - كثيراً ما يلزم إيجاد منسوب نقطة على المنحنى الرأسي ذات محطة تختلف عن المحطات المختارة والمتباعدة بمسافات ثابتة متساوية ، من أجل ذلك نطبق المعادلة :

$$y = -0.0001\ x^2 + 0.0125\ x + 653.00$$

على سبيل المثال ، لحساب منسوب النقطة من المنحنى الرأسي ذات المحطة 1411.25 m نطبق المعادلة السابقة الخاصة بالمثال الحالي وذلك على الشكل التالي :

x = 1411.25 - Station BVC = 1411.25 - 1300 = 111.25 m

وعليه :

$$y = -0.0001\,(111.25)^2 + 0.0125\,(111.25) + 653.00$$

y = 653.15 m

جدول رقم 12 - 9

المحطة Station	المسافة الأفقية (المسافة المماسية السيفية) x (m)	x^2 (m^2)	$\frac{q-p}{4\ell}$	(1) $\frac{q-p}{4\ell}x^2$ (m)	P	(2) x .P (m)	(3) have (m)	المنسوب النهائي y (1) + (2) + (3) (m)	الفرق الأول First Difference dy/dx (m)	الفرق الثاني Second Difference d^2y/dx^2 (m)
BVC = 1300m	00.00	00.00	- 0.0001	00.00	+ 0.0125	00.00	653.00	653.00	0.21	
1320	20	400	"	- 0.04	"	+ 0.25	"	653.21		- 0.08
									0.13	
1340	40	1600	"	-0.16	"	+0.50	"	653.34		- 0.08
									0.05	
1360	60	3600	"	- 0.36	"	+ 0.75	"	653.39		-0.08
									- 0.03	
1380	80	4600	"	- 0.64	"	+ 1.00	"	653.36		- 0.08
									-0.11	
1400	100	10000	"	- 1.00	"	+ 1.25	"	653.25		-0.08
									- 0.19	
1420	120	14400	"	- 1.44	"	+ 1.50	"	653.06		- 0.08
									- 0.27	
1440	140	19600	"	- 1.96	"	+ 1.75	"	652.79		- 0.08
									- 0.35	
1460	160	25600	"	- 2.56	"	+ 2.00	"	652.44		- 0.08
									- 0.43	
1480	180	32400	"	- 3.24	"	+ 2.25	"	652.01		- 0.08
									- 0.51	
EVC =1500 m	200	40000	"	- 4.00	"	+ 2.50	"	651.50		

4 – لاحظ أن مقدار الفرق الثاني يساوي :

$$d^2y/dx^2 = 2a = (q - p)/2\ \ell = -0.04/200 = -0.0002/m$$

وعليه يجب أن يكون الفرق الثاني ثابتاً ومساوياً (في الجدول 12- 9) :

(تباعد المحطات 20 m) : $d^2y/dx^2 = -0.0002\ (20)^2 = -0.08m$

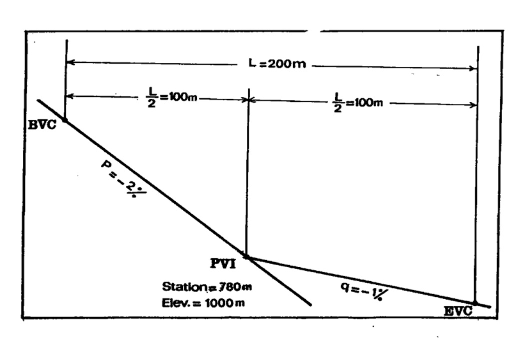
مثال رقم 12 - 5 :

يتقابل مماسا منحنى رأسي عند المحطة 780m والمطلوب هو ترتيـــب الحســابات اللازمة بشأن توقعيه في الطبيعة وذلك وفقاً للمعطيات التالية ، الشكل(12-18).

طول المنحنى الرأسي : $L = 200$ m

ميلا المماسين : $p = 2\%, q = -1\%$

منسوب نقطة تقابل (تقاطع) للماسين: Elevation of PVI = 1000m



شكل 12 - 18

الحـــــل :

محطة نقطة التقاء المماسين : Station of PVI = 780

يطرح طول المماس : $- \ell = \underline{100m}$

ينتج محطة نقطة بداية المنحنى : Station BVC = 680m

يضاف طول المنحنى الرأسي : $+2\ \ell = \underline{100m}$

ينتج محطة نهاية المنحنى الرأسي : Station EVC = 880 m

Elevation of BVC = h_{BVC} = 1000 + 0.02 (100) = 1002.00 m

Elevation of EVC = h_{EVC} = 1000 - 0.01 (100) = 999.00 m

x = 20 , 40 , 60 , …, 180 , 200 m

$$y = \frac{q-p}{4\ell}x^2 + px + h_{BVC}$$

$$y = \frac{(-0.01+0.02)}{4(100)}x^2 - 0.02\,x + 1002.00$$

$$y = 0.00025\ x^2 - 0.02\ x + 1002.00$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (12 - 10) التالي :

جدول 12 - 10

المحطة Station	المسافة الأفقية (المسافة المماسية السينية) x (m)	المنسوب Elevation y (m)	الفرق الأول First Difference dy/dx (m)	الفرق الثاني Second Difference d^2y/dx^2 (m)
BVC= 680m	00.00	1002.00		
			- 0.39	
700	20	1001.61		0.02
			-0.37	
720	40	1001.24		0.02
			-0.35	
740	60	1000.89		0.02
			-0.33	
760	80	1000.56		0.02
			-0.31	
780	100	1000.25		0.02
			-0.29	
800	120	999.96		0.02
			-0.27	
820	140	999.69		0.02
			-0.25	
840	160	999.44		0.02
			-0.23	
860	180	999.21		0.02
			-0.21	
EVC=880m	200	999.00		

لاحظ أن مقدار الفرق الثاني يساوي (على أساس أن تباعد المحطات يساوي 20m) :

$d^2y/dx^2 = 2a = (q - p)/2\ \ell = 0.01/200 = 0.00005/m = 0.00005\ (20)^2 = 0.02m$

مثال رقم 12 - 6 :

احسب ورتب المعلومات اللازمة بشأن توقيع منحنى رأسي وفقــاً للمعطيــات التاليــة بالطريقة التحليلية (شكل 12-19) :

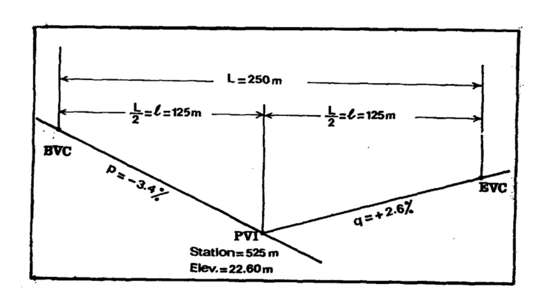
طول المنحنى الرأسي : $L = 250$ m

ميل المماس الأيسر : $p = -3.4\ \%$

ميل المماس الأيمن : $q = +2.6\ \%$

محطة نقطة تقاطع المماسين : Station of BVI = 525m

منسوب نقطة تقاطع المماسين : Elevation of PVI = 22.60m



شكل 12 - 19

الحـــــل :

محطة نقطة التقاء المماسين : Station of PVI = 525

يطرح طول المماس : $-\ \ell = \underline{125m}$

ينتج محطة نقطة بداية المنحنى : Station BVC = 400m

يضاف طول المنحنى الرأسي : $+\ 2\ \ell = \underline{250m}$

ينتج محطة نهاية المنحنى الرأسي : Station EVC = 650 m

Elevation of BVC = h_{BVC} = 22.60 + 0.034 (125) = 26.85 m

Elevation of EVC = h_{EVC} = 22.60 + 0.026 (125) = 25.85 m

x = 25 , 50 , 75, ..., 225 , 250 m

$$y = \frac{q - p}{4\ell}x^2 + px + h_{BVC}$$

$$y = \frac{(0.026 + 0.034)}{4(125)}x^2 - 0.034\,x + 26.85$$

$$y = 0.000\,12\;x^2\; - 0.034\;x\; + 26.85$$

الآن نقوم بترتيب الجدول رقم (12 - 11) التالي :

جدول 12 - 11

المحطة Station	المسافة الأفقية (المسافة الماسية السينية) x (m)	المنسوب Elevation y (m)	الفرق الأول First Difference dy/dx (m)	الفرق الثاني Second Difference d^2y/dx^2 (m)
BVC= 400m	00.00	26.85		
			-0.775	
425	25	26.075		0.15
			-0.625	
450	50	25.45		0.15
			-0.475	
475	75	24.975		0.15
			-0.325	
500	100	24.65		0.15
			-0.175	
525	125	24.475		0.15
			-0.025	
550	150	24.45		0.15
			+0.125	
575	175	24.575		0.15
			+0.275	
600	200	24.85		0.15
			+0.425	
625	225	25.275		0.15
			+0.575	
EVC=650m	250	25.85		

لاحظ أن مقدار الفرق الثاني (d^2y/dx^2) يساوي :

$d^2y/dx^2 = 2a = (q - p)/2\,\ell = 0.06/250 = 0.00024/m$

وعليه فيجب أن يكون الفرق الثاني من الجدول (12-11) مساوياً :

(تباعد المحطات يساوي 25 m) $d^2y/dx^2 = 0.00024\,(25)^2 = 0.15m$:

ملحوظة حول تحديد موقع أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي

(Location of Highest or Lowest Point)

يعد تحديد موقع (محطة) أعلى أو أخفض نقطة من للمنحنى الرأسي أمــــراً حيويـــاً وذلك لغايات تحديد المواقع المناسبة للعبّارات والجسور والأقنية المختلفة وكذلك لتعيـــين الفارق الرأسي أو الخلوص (Clearance) بين سقف جسر أو منشأ معين وسطح الطريق أو المسار من تحته .

نحن نعلم أن ميل المنحنى يعطي بمشتقه الأول وعليه فإنه بإيجاد المشتق ومســــاواته بالصفر يمكن استنتاج المسافة (x) التي تبعدها النقطة الأخفض أو الأعلى عن نقطة بداية المنحنى الرأسي (BVC) أي :

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \frac{q-p}{4\ell}x^2 + px + h_{BVC}$$

المشتق الأول أو الميل يساوي :

$$\frac{d_y}{dx} = \frac{q-p}{2\ell}x + p$$

وبمساواة معادلة الميل بالصفر يصبح لدينا :

$$\frac{q-p}{2\ell}x + p = 0$$

$$x = \frac{-2p\ell}{q-p}$$

في المثال (12 - 6) ، يكون لدينا موقع أخفض نقطة :

$$x = -2(p)(\ell)/(q-p)$$

$$x = -2(-3.4)(125)/6 = 141.67\ m$$

أمّا منسوبها فيساوي :

$$y = 0.00012\,(x^2) - 0.034\,(x) + 26.85$$

$$y = 0.00012\,(141.67)^2 - 0.034\,(141.67) + 26.85$$

$$y = 24.44\ m$$

وبملاحظة الجدول (12 -11) يتبين لنا أنه لا يوجد منسوب أخفض من هذه القيمة .

مسائـــــــل

12 - 1 لماذا نحتاج إلى معرفة موقع ومنسوب أعلى أو أخفض نقطة من المنحنى الرأسي؟

12 - 2 هل هناك حاجة دائمة للمنحنيات الرأسية ؟

12 - 3 على ماذا يعتمد اختيار طول المنحنى الرأسي ؟

12 - 4 إحسب مقدار زاوية التدرج (φ) للحالات التالية :

أ - $q = -2\%$, $p = +3\%$

ب - $q = +3\%$, $p = -2\%$

ج - $q = +1\%$, $p = +3\%$

د - $q = -1\%$, $p = -3\%$

هـ - $q = +3\%$, $p = +2\%$

و - $q = -3\%$, $p = -2\%$

12 - 5 إذا كان التغير المسموح به في التحدر لكل (20 m) يساوي (0.2 %) وكان ميل المماس الأيسر (p = + 1.2 %) وميل المماس الأيمن (q = - 2 %) فكم يكون طول المنحنى الرأسي ؟

12 - 6 على ماذا يعتمد اختيار قيم الميول الرأسية ؟

12 - 7 أيهما أطول: المنحنى الرأسي في خطوط السكك الحديدية أم المنحنى الرأسي في الطرق العادية ؟ ولماذا ؟

12 - 8 أيهما أكثر استعمالاً في المنحنيات الرأسية ، المنحنى المكافىء التكعيبي أم المنحنى المكافىء التربيعي البسيط ؟ ولماذا ؟

12 - 9 هل يتطلب الأمر زيادة طول المنحنى الرأسي مع زيادة زاوية التدرج أم العكـــــس؟ ولماذا ؟

10-12 ما هي العناصر التي يجب توافرها لتهيئة متطلبات توقيع المنحنى الرأسي في الطبيعة ؟

11-12 ما الذي يحدّ من زيادة طول المنحنى الرأسي في المرتفعات ؟

12-12 لماذا يحبّذ زيادة طول المنحنى الرأسي في المرتفعات ؟

13-12 لديك منحنى رأسي هرمي (قمة أو تلالي Summit) نسبة الانحـــــدار (Gradient) على المماس الأول (1st TAN) تساوي : p % = + 2.1 % ونسبة الانحدار علــــى المماس الثاني : q% = - 1.1 % ، التغير المسموح بـــه في التحـــدر لكـــل (20m) يساوي : 0.6% ، محطة نقطــــة تقـــاطع المماســـين : 2210m (أي : 10+22) ومنسوب نقطة التقاطع : 870.48 m ، المطلوب :

أ – حساب طول المنحنى الرأسي

ب – ترتيب جدول بالمعلومات اللازمة لتوقيع المنحنى في الطبيعة .

ج – التحقق من الحسابات(حد فرق الفرق بين مناسيب نقاط المنحنى المتتالية)

د – حساب موقع ومنسوب أعلى نقطة من المنحنى الرأسي .

14-12 منحنى رأسي قاعي (Sag) بالمواصفات التالية :

* p % = - 1.5 % , q % = - 2 %

* التغير المسموح في التحدر لكل (20m) يساوي 0.5% .

* محطة نقطة تقاطع المماسين : 1500 m (أي : 00 + 15)

* منسوب نقطة التقاطع : 600.50 m

المطلوب :

أ – احسب طول المنحنى الرأسي .

ب – حساب مناسيب العدد اللازم من نقاط المنحنى لغايات توقيعه .

ج – حساب محطة ومنسوب أخفض نقطة من المنحنى .

د – إجراء التحقيق الحسابي بإيجاد مقدار الفرق الثابت (d^2y/dx^2) .

12-15 المطلوب إعداد جدول بمناسيب نقاط منحنى رأسي باستخدام نفس المعطيات (المدلولات Data) الواردة في المسألة (12-13) ولكن على أساس منحنى رأسي تكعيبي مكافىء (Cubic Parabola Vertical Curve) وليس منحنى رأسي تربيعي بسيط (Simple Quadratic Parabola Vertical Curve) .

12-16 نفس المطلوب في المسألة (12-15) ولكن باستخدام المعطيات الواردة في المسألة (12-14) وعلى أساس منحنى رأسي تكعيبي مكافىء وليس منحنى رأسي تربيعي بسيط .

12-17 ما الذي يلزم عمله في الميدان بشأن توقيع منحنى رأسي بعد أن يكون قد تم تحضير جدول بمناسيب المحطات المثلة للمنحنى الرأسي وإجراء التحقيق الحسابي اللازم (فحص الحسابات) ؟

- 13 -

- الفصل الثالث عشر -

التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم

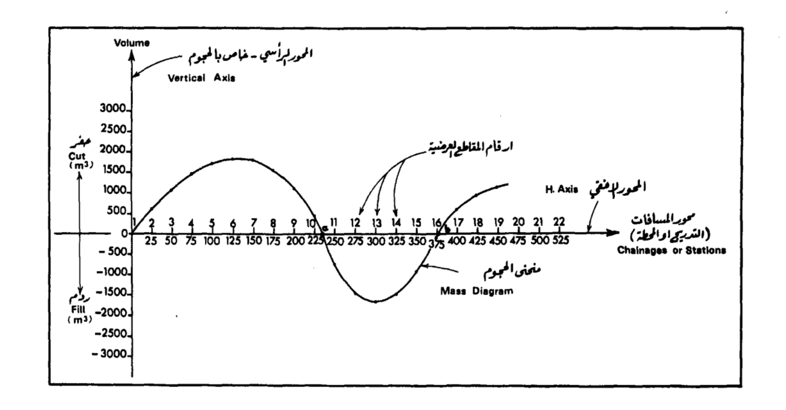
THE MASS DIAGRAM

13- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم وتعيين التوزيع الإقتصادي ومسافات النقل لها [م55]

بعد أن تعلمنا كيفية حساب مساحات المقاطع العرضية المختلفة وكميات الحفر والردم بينها ، بقي أن نعرف في مشروع طريق أو سكة حديد أو قناة ما مدى الفائض في ناتج الحفريات أو مدى النقص في حجوم الردميات اللازمة . كذلك من الضروري التعرف على إمكانية نقل الأتربة من منطقة لاخرى بصورة إقتصادية وتعيين مسافات النقل اللازمة وهل هناك ما يعيق حركة نقل هذه الأتربة وما هي نوع المعدات اللازمة ومن أين نأتي بكميات الردم اللازمة أو أين نضع الحفريات الزائدة أو غير الصالحة . في الفقرات التالية ، سنبين الوسائل التي تعين في الإجابة على هذه الأسئلة وما شابهها [م11]

13-1- التمثيل الخطي لكميات الحفر والردم – منحنى الحجوم (The Mass Diagram)

منحنى الحجوم هو عبارة عن تمثيل بياني لكميات الحفر والردم اللازمة لمشروع ما . لعمل هذا المنحنى نرسم خطاً أفقياً مستقيماً (محور سينات) ونحدد عليه بمقياس مناسب مواقع المقاطع العرضية المتتالية والمتباعدة عن بعضها بمسافات معلومة مبتدئين بالمقطع الخاص بنقطة بداية المشروع . عند كل نقطة ممثلة لموقع مقطع عرضي معين على محور السينات ، نقيم عموداً بطول يمثل – وفق مقياس رسم معين–المجموع الجبري لكميات الحفر والردم حتى ذلك المقطع وذلك على أساس أن الحفر يعتبر موجباً والردم سالباً (أو مجموع الحفر – مجموع الردم حتى ذلك المقطع) ، شكل (13-1). على سبيل المثال، في الشكل (13-1) المجموع الجبري لكميات الحفر والردم من بداية المشروع حتى المقطع العرضي رقم 4 ذي التدريج (Chainage) 75m (أي بعد هذا المقطع عن بداية المشروع مقيساً وفق خط محور المشروع Road Axis or Center Line يساوي 75m) يساوي $1475\ m^3$ + وحيث أنه موجب فيعني هذا أن كميات الحفر تفوق كميات الردم بنفس هذا المقدار ولغاية هذا المقطع . ومن الشكل نفسه أيضاً نلاحظ أن كميات الحفر تتعادل مع كميات الردم عند النقطتين b و a اللتين تبعدان عن بداية المشروع 378m و 235 على التوالي . كذلك نلاحظ من الشكل



شكل13-1-1- منحنى الحجوم

(1-13) أن المجموع الجبري لكميات الحفر والردم من بداية المشروع حتى المقطع رقم 15 ذي التدريج 350m يساوي $925m^3$ – وحيث أنه سالب فيعني هذا أن كميات الردم تفوق كميات الحفر بنفس هذا المقدار ولغاية هذا المقطع .

مثال رقم 1-13

إرسم منحنى الحجوم لجزء من طريق بالإستناد إلى الجدول على الصفحة التالية :

الحـــــل

دعنا نمثل المسافة بين بداية المشروع وكل مقطع عرضي على محور أفقي (Horizontal Axis) بمقياس 2000 : 1 ونمثل المجموع الجبري لكميات الحفر والردم لغاية كل مقطع عرضي على محور صادي (Vertical Axis) بإعطاء 1cm لكل $500m^3$ من الحفر او الردم . لاحظ أن المجموع الجبري السالب لكميات الحفر والردم يمثل أسفل المحور الأفقي والمجموع الجبري الموجب يمثل أعلى الخط الافقي . يؤخذ المقياس الأفقي (مقياس المسافات بين بداية المشروع والمقاطع العرضية المختلفة) عادة مطابقاً للمقياس الأفقي الخاص برسم المقاطع الطولية لغايات سنشرحها فيما بعد . نصل بين النقاط الممثلة للمجموع الجبري لكميات الحفر والردم عند كل مقطع عرضي فيتشكل لدينا منحنى الحجوم المطلوب ، شكل (2-13) .

ملحوظـــة :

عند ترتيب جدول الحجوم ورسم منحنى الحجوم ، لم نأخذ بعين الإعتبار عامل التوازن أو ما يسميه البعض عامل الإنكماش أو عامل التضخم الذي سنتعرض له فيما بعد .

رقم المقطع	المحطة أو التدريج (m)	حجم الحفر بين كل مقطعين متتاليين (m^3)	حجم الردم بين كل مقطعين متتاليين (m^3)	المجموع الجبري للحفر والردم بين كل مقطعين متتاليين للحفر + وللردم − (m^3)	المجموع الجبري للحفر والردم لغاية المقطع المعتبر ، أي : مجموع الحفر − مجموع الردم لغاية المقطع المعتبر (m^3)
1	0.00				
			246.1	- 246.1	
2	25				- 246.1
			754.4	- 754.4	
3	50				- 1000.5
			1139.8	- 1139.8	
4	75				- 2140.3
			1935.2	- 1935.2	
5	100				- 4075.5
			869.2	- 869.2	
6	125				- 4944.7
			147.6	- 147.6	
7	150				- 5092.3
		23.9	142.4	- 118.5	
8	175				- 5210.8
		160.8	11.3	+ 149.5	
9	200				- 5061.3
		541.2		+ 541.2	
10	225				- 4520.1
		1016.8		+ 1016.8	
11	250				- 3503.3
		2017.2		+ 2017.2	
12	275				- 1486.1
		2074.6		+ 2074.6	
13	300				+ 588.5
		164.4	30.6	+ 133.8	
14	325				+ 722.3
		119.8	271.4	- 151.6	
15	350				+ 570.7
		16.1	623.8	- 607.7	
16	375				- 37.0
			785.2	- 785.2	
17	400				- 822.2
			926.5	- 926.5	

جدول 1-13 مثال رقم 1-13

18	425				- 1748.7
			1228.9	- 1228.9	
19	450				- 2977.6
			1311.6	- 1311.6	
20	475				- 4289.23
			1489.3	- 1489.3	
21	500				- 5778.5

تكملة الجدول رقم - 13-1

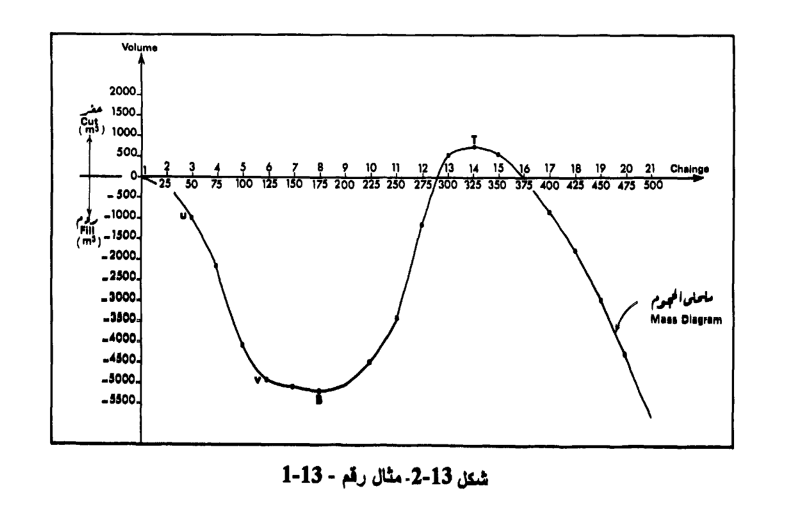
13-2- خواص منحنى النجوم

بملاحظة منحنى النجوم في الشكل **(13-2)** والجدول الخاص بالمثال **(13-1)**، يتبين لنا ما يلي :

1- الميل الموجب للمنحنى يدل على تزايد كميات الحفر أو تناقص كميات الردم والميل السالب يدل على تزايد كميات الردم أو تناقص كميات الحفر ، بكلمات أخرى ، الجزء الصاعد (Rising Curve) من منحنى الحجوم يشير إلى منطقة حفر والجزء الهابط (Descending Cruve) يدل على وجود منطقة ردم .

2- عندما نصل إلى أعل نقطة من المنحنى تتوقف كميات الحفر عن التزايد وتبدأ كميات الردم بالتزايد (أي ننتهي من منطقة كلها أو أغلبها حفر ونبدأ بمنطقة كلها أو أغلبها ردم) ، لاحظ النقطة T من المنحنى التي تمثل التدريج 325m وعندما نصل إلى أخفض نقطة من المنحنى تتوقف كميات الردم عن التزايد وتبدأ كميات الحفر بالتزايد (أي ننتهي من منطقة كلها أو أغلبها ردم ونبدأ بمنطقة كلها أو أغلبها حفر) ، لاحظ النقطة B من المنحنى التي تمثل التدريج 175m الخاص بالمقطع العرضي رقم 8 .

3- قيمة الأحداثي الصادي (المجموع الجبري للحفر والردم) عند أي نقطة من المنحنى تمثل مقدار الفرق بين كميات الحفر والردم حتى تلك النقطة فإن كان هذا الاحداثي موجباً فيعني هذا أن كميات الحفر تفوق كميات الردم بنفس القيمة العددية للأحداثي الصادي ولغاية هذه النقطة ، أما أن كان الاحداثي الصادي سالباً فتكون كميات الردم أكبر من كميات الحفر بنفس القيمة العددية للأحداثي الصادي ولغاية هذه النقطة.

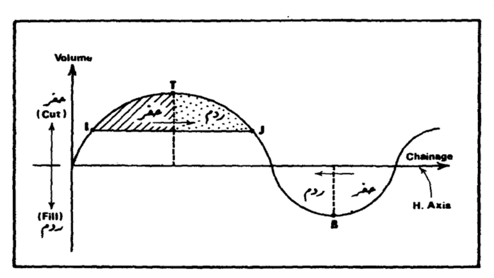


شكل 13-2- مثال رقم - 13-1

4- الفرق بين الأحداثيين الصاديين لنقطتين على منحنى الحجوم يمثل كمية الحفر او الردم الواقعة بين هاتين النقطتين من المشروع شريطة أن يكون المنحنى بين هاتين النقطتين صاعداً أو هابطاً دون إنقطاع (أي لا يوجد بين هاتين النقطتين نقطة أخرى ذات قيمة أعظمية أو أصغرية) . على سبيل المثال ، في الشكل (13-2) الاحداثي الصادي للنقطة u من المنحنى والتي تمثل المقطع العرضي رقم 3 يساوي $1000.5m^3$ - والأحداثي الصادي للنقطة v من المنحنى والتي تمثل المقطع العرضي رقم 6 يساوي $4944.7m^3$ - وعليه فإن كمية الردم الواقعة بين النقطتين v و u أو بين المقطعين العرضيين 6 و 3 تساوي :
(-1000.5) - 4944.7 – ، أي $3994.2m^3$ - .

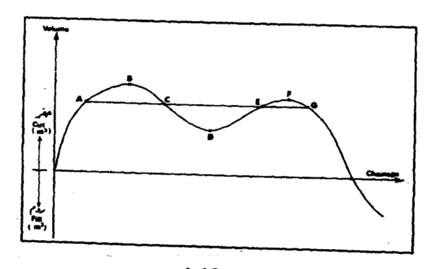
5- يطلق على أي خط افقي يقطع منحنى الحجوم في نقطتين بخط التعادل (Balancing Line) . كما يطلق على الجزء المحصور بين خط التعادل ومنحنى الحجوم بقطاع التعادل (Balancing Sector) . إن كل خط تعادل يقابله نقطة أعظمية (أي نقطة ذات احداثي صادي موجب أعظمي في ذلك الجزء من المنحنى) أو نقطة أصغرية (نقطة ذات أحداثي صادي سالب أصغري في ذلك الجزء من المنحنى) . كذلك يكون حجم التربة المحصور بين خط تعادل ما ومنحنى الحجوم موزعاً بحيث أن حجم الحفر يساوي حجم الردم . في الشكل (13-3) ، النقطة T تمثل أعلى نقطة من المنحنى (أي إعتباراً من هذه النقطة يتوقف الحفر ويبدأ الردم) . والخط IJ يمثل خط تعادل والقطاع ITJ (الجزئان المهشر والمنقط) يمثل قطاع تعادل . لاحظ أن كمية الحفر اللازمة بين النقطتين T و I تساوي كمية الردم اللازمة بين النقطتين J و T والسبب في ذلك هو أن الفرق بين الاحداثيين الصاديين للنقطتين T و I يساوي الفرق بين الأحداثيين الصاديين للنقطتين J و T (لاحظ أن الأحداثيين الصاديين للنقطتين J و I متساويان نظراً لوقوعهما على خط أفقي واحد) . الأسهم المبينة في نفس الشكل تدل على إتجاه نقل التربة من مواقع الحفر إلى مواقع الردم . لاحظ أيضاً أن نفس المحور الأفقي لمنحنى الحجوم يعتبر خط تعادل .

6- نقاط أو مناطق الإنقطاع في منحنى الحجوم تدل إما على بداية المشروع أو نهايته أو طرف نهر أو واد عميق (حيث يصعب عملياً إجتيازه بهدف نقل ناتج الحفريات أو يراد إنشاء جسر) .



شكل - 13-3-

7- إن مساحة أي قطاع تعادل (أي مساحة الجزء المحصور بين خط تعادل ما ومنحنى الحجوم) تمثل عزم النقل (Haul) اللازم لتوزيع التربة ما بين طرفي خط التعادل لهذا القطاع . يكافئ عزم النقل هذا مجموع حاصل ضرب حجوم الحفريات الفردية في مسافات النقل اللازمة لها . في الشكل (13-4) ، على سبيل المثال ، مساحة قطاع التعادل ABC تمثل عزم النقل لتوزيع التربة بين C و A ومساحة قطاع التعادل CDE تمثل عزم النقل لتوزيع التربة بين E و C . . . . الخ .

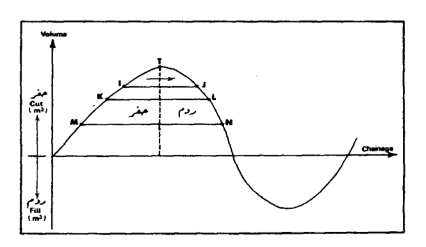


شكل - 13-4 -

13-3- التوزيع الإقتصادي للحفريات

من الضروري في مشاريع الطرق والسكك والمطارات والأقنية وخطوط القوى ، إنجاز أعمال الحفر والنقل والردم اللازمة بشكل مدروس ومنظم وبأقل التكاليف . من الواضح أنه إذا كانت كميات الحفر تتعادل مع كميات الردم وكانت مسافات النقل قصيرة أو مقبولة ، كان هذا هو الحل الإقتصادي المنشود . عملياً ، على كل حال ، لا يكون هذا الحل دائماً في متناول اليد إذ تزيد أحياناً كميات الحفر عن كميات الردم المطلوبة مما يضطرنا إلى نقلها لأماكن مناسبة بجوار الطريق أو بعيداً عنها حسب ما تسمح به شروط الطريق . وقد تزيد أحياناً أخرى كميات الردم المطلوبة عن كميات الحفر المتوفرة فنضطر للبحث عن مصادر للتربة الصالحة للردم . هذه المصادر قد توجد ضمن حرم الطريق (الشريط المستملك للطريق) أو بعيداً عنه . إن تكاليف حفر التربة ونقلها إلى مواقع الردم ضمن أو خارج شريط الطريق تؤثر كثيراً على تكاليف المشروع . من الطبيعي أن تكاليف النقل تكون أصغرية إذا استعملت كميات الحفر في مقطع ما الردم في نفس المقطع ، إي إذا كان توزيع التربة عرضانياً حيث في هذه الحالة يمكن نقل التربة بواسطة المجرفة اليدوية او بالمجرفة الميكانيكية أو بالعربة وعادة تستخدم الآلات الحديثة مثل البولدوزر لمثل هذه الأعمال .وفي كل الأحوال يجب عدم إستعمال تربة الحفر للردم إذا كانت هذه التربة غير صالحة ومقاومتها ضعيفة . إن منحنى الحجوم يقدم في هذا المجال خدمات كبيرة ومفيدة إذ بواسطته يمكن معرفة كميات الحفر الزائدة وكميات الردم اللازمة ومسافات النقل الأصغرية اللازمة لتحريك التربة من مواقع الحفر إلى مواقع الردم . على سبيل المثال ، في الشكل (13-5) ، الخطوط الافقية MN و KL و IJ هي خطوط تعادل ولكنها ذات ميزات متباينة فالخط IJ يتطلب نسبياً مسافة نقل أصغرية لكميات ترابية محدودة بينما الخط KL يستوجب مسافة نقل أطول لكميات ترابية أكبر أيضاً . كذلك الخط MN يتطلب مسافة نقل أكبر مما يتطلبه كل من الخطين السابقين. على كل حال ، ليس من الضروري أو الحكمة دائماً إستخدام جميع ناتج الحفر (ضمن المشروع) لأغراض الردم وذلك لسببين رئيسيين أولهما أنه قد لا تصلح جميع مادة التربة المحفورة لعملية الردم وثانيهما أنه قد تكون مسافة النقل (Haul Distance) لبعضها كبيرة وبالتالي باهظة التكاليف . في مثل هذه الظروف ، يجري جلب الكميات اللازمة من الردم من مواقع صالحة ومجاورة وقريبة ما أمكن (Borrow Pits) وكذلك نقل الكميات الفائضة أو غير الصالحة او البعيدة من الحفريات إلى مواقع قريبة ومناسبة خارج شريط المشروع (Suitable Tips) . إذن لا بد أولاً من تحديد المواقع المناسبة لتزويد الردم (Borrow Pits) وفي ضوء ذلك يجري

رسم سلسلة من خطوط التعادل لنحدد على أساسها انسب الأماكن التي يمكن أن تمدنا بكميات الردم المطلوبة وأنسب الأماكن التي يمكن تجميع ما لا يلزم من الحفر فيها [م25] .



شكل 5-13

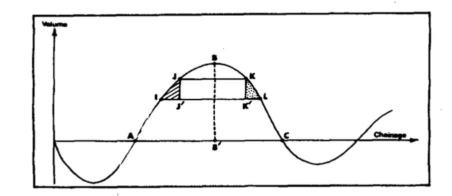
ملحوظــــــة :

عند طرح عطاء الأعمال الترابية لطريق أو مشروع ما فإنه يجري عادة إختيار أحد حلين ، فإما أن يضع المتعهد سعراً إجمالياً (Lump Sum) لأعمال الحفريات والردميات بحيث يوزع ناتج الحفريات حيثما يراه مناسباً ولا بد أنه يستخدم منحنى الحجوم لمساعدته على إختيار أكثر الحلول إقتصادياً ، وأما أن يضع المتعهد سعره على أساس تكلفة حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة محددة (لا تزيد عن 150m على سبيل المثال) وهنا تكون تكلفة النقل لهذه المسافة (أو دونها) المحددة في العطاء مشمولة في سعر الحفريات . يطلق على مسافة النقل هذه بحدود النقل المجاني (Limit of Free Haul) كذلك ينص في وثائق العطاء على أجرة المتر المكعب الواحد لأي مسافة تزيد عن حدود النقل المجاني . قد يشترط ، على سبيل المثال ، دفع J.D. 0.1 لنقل وحدة الحجوم (m^3) لكل 50m زيادة عن حدود النقل المجاني. يطلق على هذا البند بالنقل الزائد (Overhaul) . فيما يتعلق بأعمال الردم فيكتفي في غالب الأحيان بكتابة نص معين يكفل وضع ناتج الحفريات في مواقع الردم اللازمة حسب توجيهات المهندس المشرف .

4-13- تعيين المسافات الوسطى للنقل

في الشكل (6-13) المحور الأفقي لمنحنى الحجوم يمثل-كأي خط أفقي آخر-خط تعادل وبالتالي فإن السطح ABC المحصور بين خط التعادل AC والخط ABC من منحنى الحجوم يمثل قطاع تعادل نظراً لتعادل كميات الحفر والردم بين المقطعين C و A بالنسبة للخط الأفقي أو خط التعادل AC . دعنا نرسم الخطين الأفقيين IL و JK ضمن قطاع التعادل ABC وعلى مسافة صغيرة جداً من بعض. من الواضح أن حجم الحفر JJ' يعادل حجم الردم KK' وأن مسافة النقل الوسطى δ التي تلزم لنقل التربة من منطقة الحفر بين J و I (الجزء المهشر في الشكل 6-13) إلى منطقة الردم بين L و K (الجزء المنقط في الشكل (6-13) تساوي :

$$\delta = \frac{JK + IL}{2}$$



شكل 6-13.

يطلق على حاصل ضرب حجم الحفر JJ' (أي كمية الحفر المراد نقلها والواقعة بين المقطعين J وI) في المسافة الوسطى δ اللازمة لنقله وتوزيعه بين المقطعين L و K بعزم النقل للحجم JJ' وعليه إذا رمزنا بـ η JJ' لعزم النقل للحجم JJ' فإن :

$$\eta\, JJ' = JJ' \cdot \delta$$

$$\eta JJ' = JJ' \left(\frac{JK + IL}{2}\right) = \text{Area of Trapezoid IJKL}$$

أي إن سطح شبه المنحرف IJKL يمثل العزم للحجم الجزئي JJ′ . حيث ان السطح ABC يمثل تكاملاً لسطح شبه المنحرف الصغير IJKL :

$$\text{Area of ABC} = \int \text{Area of IJKL}$$

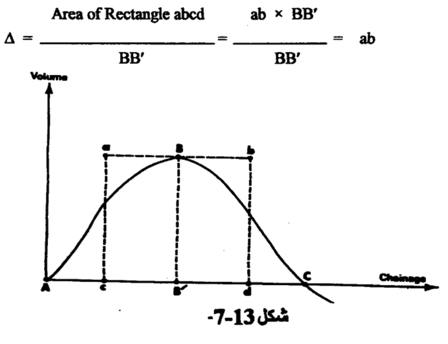
إذن لا بد أن يكون هذا السطح (ABC) ممثلاً لعزم النقل η للحجم BB′ وعليه إذا رمزنا بـ Δ للمسافة الوسطى اللازمة لنقل حجم الحفر BB′ (أي حجم الحفر الكلي المراد نقله والواقع بين المقطعين B و A) وتوزيعه بين المقطعين C و B يكون لدينا :

$$\text{Area of ABC} = \dot{B}B' \cdot \Delta$$

$$\Delta = \frac{\text{Area of ABC}}{BB'}$$

أي أن المسافة الوسطى للنقل تساوي مساحة قطاع التعادل مقسومة على حجم التربة أو الحفر المراد نقله وتوزيعه ضمن قطاع التعادل هذا . لاحظ أننا إذا حولنا القطاع ABC إلى مستطيل مكافئ له في المساحة وإرتفاعه مساو لـ BB′ فتكون المسافة الوسطى مساوية لقاعدة هذا المستطيل . على سبيل المثال ، في الشكل (7-13) ، إذا كان المستطيل abcd ذو الإرتفاع BB′ مكافئاً في المساحة للقطاع ABC فإن المسافة الوسطى اللازمة لنقل حجم الحفر BB′ (كميات الحفر الواقعة بين المقطعين B و A) وتوزيعه في منطقة الردم بين المقطعين C و B تساوي ab أي قاعدة هذا المستطيل .

$$\Delta = \frac{\text{Area of Rectangle abcd}}{BB'} = \frac{ab \times BB'}{BB'} = ab$$



شكل 13-7-

مما سبق نستنتج ما يلي [م30]

1- مساحة قطاع التعادل (المساحة المحصورة بين خط التعادل ومنحنى الحجوم) تكافئ عزم النقل (Haul) لحجم التربة المراد نقلها وتوزيعها ضمن قطاع التعادل هذا . إن عزم النقل هذا يساوي مجموع حاصل ضرب حجوم الحفريات الفردية ضمن قطاع التعادل في مسافات النقل اللازمة لها .

2- تعتبر مساحة قطاع التعادل مؤشراً على حجم وتكاليف العمل المطلوب وأن التناسب بينهما طردي .

3- في الحالات التي توضع فيها خطوط التعادل بأشكال مختلفة وجيدة ، يكون أفضل الأوضاع ذلك الذي تكون معه المساحات المحصورة بين منحنى الحجوم وخطوط التعادل أصغرية.

دعنا نفترض الآن أن لدينا عدد n من الكتل الترابية المراد حفرها ونقلها إلى مواقع الردم المخصصة لها وأن الوزن لجميع هذه الكتل الترابية هو نفسه (كما هو الحال عادة في تربة الطرقات) وأن V_n . . . V_3 و V_2 و V_1 تمثل الحجوم الخاصة بهذه الكتل . كذلك لنرمز بـ K للسعر المشترك لنقل وحدة الحجم لمسافة تساوي وحدة الطول (1m) فإذا ما نقلت هذه الحجوم إلى المسافات الوسطى δ_4 . . . δ_3 و δ_2 و δ_1 يكون عندها السعر الكلي C للنقل مساوياً :

$$C = K\ (\delta_1 V_1 + \delta_2 V_2 + \delta_3 V_3 + \ldots + \delta_n V_n)$$

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i V_i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (1\text{-}13)$$

لكن ، كما مر معنا – عزم النقل لأي حجم يساوي حاصل ضرب هذا الحجم في المسافة الوسطى اللازمة لنقله وبالتالي إذا رمزنا بـ η_1 لعزم النقل الخاص بالحجم V_1 وبـ η_2 لعزم النقل الخاص بالحجم V_2 ... وهكذا فتصبح المعادلة (1-13) على الشكل :

$$C = K\ (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \ldots + \eta_n)$$

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \eta_i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (2\text{-}13)$$

إن مقدار $\sum_{i=1}^{i=n} \eta i$ يمثل العزم الكلي للنقل .

في المعادلة (1-13)، إذا إستخدمنا مسافة نقل وسطي مشتركة Δ لجميع الحجوم بدلاً من المسافات الوسطى الفردية δn .... و δ2 و δ1 فإن حاصل ضرب المسافة المشتركة Δ بسعر الوحدة المشترك K وبمجموع ΣVi يؤدي إلى نفس السعر الكلي الناتج من المعادلة (1-13)، أي أن :

$$C = K \sum_{i=1}^{i=n} \delta i \quad Vi \quad = K . \Delta \sum_{i=1}^{i=n} Vi$$

وعليه فإن مسافة النقل الوسطى المشتركة Δ لجميع الحجوم تساوي :

$$\Delta = \frac{K \sum_{i=1}^{i=n} \delta i \ Vi}{K \sum_{i=1}^{i=n} V i}$$

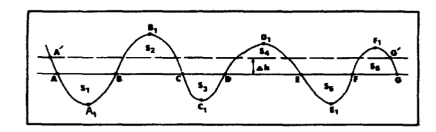
$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta i \ Vi}{\sum_{i=1}^{i=n} V i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}13)$$

أو :

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \eta \ i \ Vi}{\sum_{i=1}^{i=n} V i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4\text{-}13)$$

13-5- تعيين خطوط التعادل التي تجعل تكاليف النقل أصغرية

في الشكل (13-8) ليكن لدينا خط التعادل المستمر والذي يقطع منحنى الحجوم في النقاط G و F و E و D و C و B و A مشكلاً قطاعات FF1G و EE1F و DD1E و CC1D و BB1C و AA1B ذات السطوح S6 و S5 وS4 وS3 وS2 وS1 على التوالي. إن هذه السطوح لقطاعات التعادل تمثل عزوم النقل لها وبفرض أن C6 وC5 وC4 وC3 وC2 وC1 تمثل أسعار النقل الأولية (أي سعر نقل وحدة الحجم لمسافة وحدة الطول ضمن كل قطاع) لقطاعات التعادل على التوالي فيصبح السعر الكلي للنقل C لكامل الجزء من المشروع الممتد من المقطع A إلى المقطع G مساوياً [م33]



شكل 13-8-

$$C = C_1S_1 + C_2S_2 + C_3S_3 + C_4S_4 + C_5S_5 + C_6S_6$$

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_iS_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13\text{-}5)$$

وإذا رمزنا بـ η_6 و η_5 و η_4 و η_3 و η_2 و η_1 لعزوم النقل الخاصة بقطاعات التعادل، يمكننا أن نكتب أيضاً :

$$C = C_1\eta_1 + C_2\eta_2 + C_3\eta_3 + C_4\eta_4 + C_5\eta_5 + C_6\eta_6$$

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_i\eta_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13\text{-}6)$$

ماذا سيحدث الآن إذ زلقنا خط التعادل AG للأعلى بمسافة صغيرة جداً Δh ؟ في الواقع سيأخذ خط التعادل الوضع الأفقي الجديد $A'G'$ وتتغير تبعاً لذلك مساحات قطاعات التعادل ، فبعضها يزيد والبعض الآخر ينقص . وبالتحديد ستزداد مساحات السطوح S_5 و S_3 و S_1 بالمقادير $\Delta h . EF$ و $\Delta h . CD$ و $\Delta h . AB$ على التوالي وستنقص مساحات السطوح S_6 و S_4 و S_2 بالمقادير $\Delta h . FG$ و $\Delta h . DE$ و $\Delta h . BC$ على التوالي . ينشأ عن زيادة المساحات زيادة في سعر النقل قدرها :

$$\Delta h . AB.C_1 + \Delta h . CD.C_3 + \Delta h . EF.C_5$$

أي

$$\Delta h (AB.C_1 + CD.C_3 + EF.C_5)$$

كذلك سيحدث نقصان في سعر النقل وقدره :

$$\Delta h (BC.C_2 + DE.C_4 + FG.C_6)$$

وسيكون مقدار التغير ΔC في سعر النقل الكلي مساوياً :

$$\Delta C = \Delta h (AB.C_1 + CD.C_3 + EF.C_5 - BC.C_2 - DE.C_4 - FG.C_6)$$

عندما ينعدم المشتق ($\frac{\partial C}{\partial h}$) ينتج لدينا السعر الكلي الأصغري للنقل ، أي :

$$\frac{\partial C}{\partial h} = AB.C_1 + CD.C_3 + EF.C_5 - BC.C_2 - DE.C_4 - FG.C_6 = 0$$

أو :

$$AB . C_1 + CD . C_3 + EF.C_5 = BC . C_2 + DE . C_4 + FG . C_6$$

وهذا هو الوضع الذي يجب أن يأخذه خط التعادل AG حتى يكون السعر الكلي للنقل أصغرياً.

ملحوظـــــات :

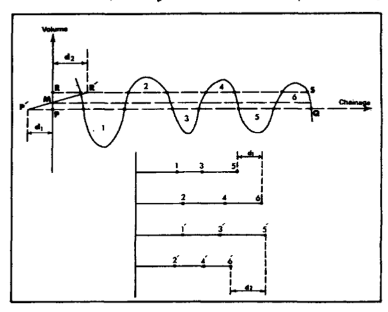
أ . إذا كانت أسعار النقل لمختلف قطاعات التعادل متساوية ، أي $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6$ فيكون الشرط الذي يحقق السعر الكلي الأصغري للنقل هو :

$$AB + CD + EF = BC + DE + FG \quad .... \quad (7\text{-}13)$$

ويمكن بيان هذا تخطيطياً على الشكل التالي :

دعنا نرسم خط تعادل مثل PQ ، شكل (13-9) حيث يقطع منحنى الحجوم في وضع يكون معه مجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات 5 و 3 و 1 أصغر من مجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات 6 و 4 و 2 . انقل أطوال خطوط التعادل الناتجة للقطاعات 5 و 3 و 1 بشكل متتابع على خط مستقيم منفصل وكذلك انقل خطوط التعادل الناتجة للقطاعات 6 و4 و 2

على خط مستقيم ثان آخر كما هو مبين في الجزء السفلي من الشكل (9-13) . ليكن الفرق بين مجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات 5 و 3 و 1 ومجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات 6 و 4 و 2 مساوياً للطول d1 الآن نمد خط التعادل PQ لجهة اليسار بدءاً من النقطة P على محور الحجوم بمقدار هذا الطول d1 ، أي PP′ = d1 .



شكل 9-13

الآن دعنا نرسم خط توزيع آخر RS بحيث يقطع منحنى الحجوم في وضع يكون معه مجموع أطوال خطوط التعادل لقطاعات التعادل الجديدة ′5 و ′3 و ′1 (القطاعات المحصورة بين منحنى الحجوم وخط التعادل الجديد RS وهي غير مرقمة على الشكل) أكبر من مجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات الجديدة ′6 و ′4 و ′2 المحصورة أيضاً بين منحنى الحجوم وخط التعادل الجديد RS) . ننقل أطوال خطوط التعادل الناتجة للقطاعات ′5 و ′3 و ′1 بشكل متتابع على خط مستقيم ثالث منفصل وكذا ننقل أطوال خطوط التعادل الناتجة للقطاعات ′6 و ′4 و ′2 على خط مستقيم رابع منفصل وليكن الفرق بين مجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات ′5 و ′3 و ′1 ومجموع أطوال خطوط التعادل للقطاعات ′6 و ′4 و ′2 مساوياً للطوي d2 . الآن نتأخذ هذا البعد d2 على خط التعادل RS بدءاً من النقطة R على محور الحجوم ولجهة اليمين ، أي RR′ = d2 . الآن نصل النقطتين ′R و ′P فيقطع الخط الواصل بينهما محور الحجوم في النقطة M . نرسم من M خطاً أفقياً فيكون بمثابة خط التعادل المطلوب والذي يجعل سعر النقل الكلي أصغرياً .

في الحالات التي ينقص فيها حجم الحفر عن حجم الردم أو يتعادل الحجمان ولكن على مسافات نقل كبيرة ، يصبح من الضروري التفتيش على تربة صالحة للردم من مناطق قريبة جداً بحيث يصبح المقدار $Ce . V + \delta . V . Ct$ أصغرياً حيث ترمز Ct إلى السعر الأولي (سعر نقل وحدة الحجم ، $1m^3$ ، لمسافة وحدة الطول ، 1m) النقل (Hauling) وترمز Ce إلى السعر الأولي للحفر (سعر وحدة حفر الحجوم) أما δ فترمز إلى المسافة الوسطى للنقل كما ترمز V إلى الحجم المحفور . في الحالات التي تتوفر فيها كميات الحفر على مسافات بعيدة من مناطق الردم اللازمة ، فيستحسن نقل هذه الكميات إلى مستودعات خاصة على جوانب الشريط المستملك (حرم الطريق) إذا سمحت ظروف الطريق بذلك والا فلا بد من نقلها لمناطق بعيدة مناسبة مما يزيد في تكاليف الأعمال الترابية [8م] .

مثال رقم 2-13

ما هو الحد الأعظمي الإقتصادي لمسافة النقل إذا علمت أن سعر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m او دون ذلك يساوي J.D. 0.1 وسعر نقل المتر المكعب الواحد لكل 50m زيادة عن 150m يساوي J.D. 0.025 ؟

الحـــــــل :

إن مسافة النقل الأعظمية الإقتصادية x هي تلك المسافة التي تتساوى معها تكاليف الحفر والنقل معاً من منطقة الحفر إلى منطقة الردم ضمن المشروع ذاته مع تكاليف الحفر والنقل مرتين (مرة لحفر الكمية من موقعها ضمن المشروع ونقلها إلى مستودع مجاور على جانب الطريق لا يبعد أكثر من 150m ومرة أخرى لحفر ونقل نفس الكمية من موقع إمداد (Borrow Pit) مناسب لا يبعد أكثر من 150m عن موقع الردم المطلوب) ، أي :

$$0.1 + \frac{x - 150}{50} \times 0.025 = 2(0.1)$$

$$0.1 + \frac{0.025x - 3.75}{50} = 0.2$$

$$0.025x = 8.75 \quad , \quad x = 350m$$

وعليه إذا زادت المسافة عن 350m فإن تكاليف الحفر والنقل ستزيد عن 0.2 J.D. وبالتالي ستزيد عن تكاليف الحفر والنقل مرتين لمسافة تقل عن 150m ، أما إن نقصت مسافة النقل عن 350m فإن تكاليف الحفر والنقل معاً ستكون أرخص من 0.2 J.D. (على سبيل المثال ، إذا كانت مسافة النقل 300m فإن تكاليف الحفر والنقل معاً تساوي :

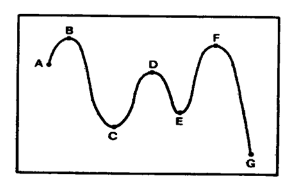
$$0.1 + \frac{300 - 150}{50} \times 0.025 = 0.175 \text{ J.D.}$$

ملحوظـــــة :

إن هذا الحل يستند على وجود تربة صالحة للردم ضمن حرم الطريق ولا تبعد بأكثر من 150m عن مواقع الردم ، أما إذا لم تتوفر تربة صالحة للردم في حدود هذه المسافة أو تطلب الأمر شراءها ، فعندها تزداد المسافة الأعظمية الإقتصادية للنقل وبإمكانك أن تتخيل ذلك بسهولة .

مثال رقم 13-3

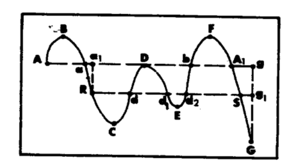
عين خط أو خطوط التعادل الأكثر ملاءمة لمنحنى الحجوم في الشكل (13-10) .



شكل 13-10-

الحـــــــل :

حيث أن النقطتين G و A ليستا على خط أفقي واحد ، شكل (13-11) ، فلا تتعادل كميات الحفـر مــع كميــات الــردم . كذلــك لــو رســمنا خــط التعــادل AA1 لوجدنـــا أن : Aa + bA1 < aD + Db وبالتالي فإن هذا الخط لا يحقق شرط السعر الكلي الأصغري للنقل (لاحظ المعادلة (13-7) والشكل (13-8)). على كل حال ، هنـاك حاجـة لحجم مـن التربـة الصالحة للردم مقداره Gg من إحدى مواقع الإمـداد (Borrow Pits) القريبـة مـن موقـع الردم بين المقطعين G و A1 ، أما في المنطقة الواقعة بين المقطعين A1 و A فكميات الحفر تتعادل مع كميات الردم بالنسبة لخط التعادل أوالتوزيع AA1 .



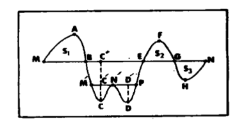
شكل 13-11-

ملحوظــــــة :

إذا كان سعر حفر ونقل التربة المستعارة مـن مواقـع الإمـداد للجـزء مـن الطريـق الواقـع بيـن المقطعين G و A1 كبيراً بسبب بعض الشروط المحلية أو غيرها ، فيمكن عندهـا اللجـوء إلـى خط التعادل الجزئي Aa1 بالإضـافة إلـى خـط التوزيـع الرئيسـي RS الـذي يحقق شـرط النقل الأصغري Rd + d1d2 = dd1 + d2S . ينتج عن خط التعادل الجزئي Aa1 حاجة إلـى كمية من الردم مقدارها Ra1 نأتي بها من إحدى مواقع الإمـداد القريبـة والمناسـبة . كمـا ينتـج عن خط التعادل الرئيسي RS حاجة إلى كميـة مـن الـردم مقدارهـا Gg1 نـأتي بهـا أيضـاً مـن إحدى مواقع الإمداد المناسبة.

مثال رقم 4-13

أرسم خط أو خطوط التعادل لمنحنى الحجوم المبين في الشكل (12-13) .



شكل 13-13 -

شكل 12-13 -

الحـــــل :

من الواضح أنه يلزم أكثر من خط تعادل لهذا المنحنى من الحجوم فلنأخذ خط التعادل الرئيسـي MN ، شكل (13-13) ، الذي يحقق لنا التعـادل للسـطوح S3 و S2 و S1 وخـط التعـادل الثانوي M'P الذي يحقق لنا التعادل بين N' و M' وبين P و N' . لاحظ أن حجم الردم بين B و M' يعادل كمية الحفر بين P و E ، أي أن المنطقة BM'CN'DPE هي منطقـة تعـادل فيها نهايتان هما D و C .

مثال رقم 5-13

في المثال رقم (4-13) ، ما هي المسافات الوسطى للنقل في منطقة التعادل BM'CN'DPE ؟ وما هو مقدار الحجم الكلي المنقول في هذه المنطقة ؟

الحـــــل :

المسافة الوسطى δ1 للنقل في قطاع التعادل M' CN' هي :

$$\delta_1 = \frac{\text{Area of } M'CN'}{\text{Volume } CC'}$$

المسافة الوسطى δ_2 للنقل في قطاع التعادل N'DP هي :

$$\delta_2 = \frac{\text{Area of } N'DP}{\text{Volume } DD'}$$

المسافة الوسطى δ_3 للنقل في المنطقة المحصورة بين الخطين الأفقيين (خطي تعادل) M'P و BE ومنحنى الحجوم ، أي المنطقة BM' PE ، تساوي :

$$\delta_3 = \frac{\text{Area of } BM'PE}{\text{Volume } C'C''}$$

أما الحجم الكلي المنقول Vt في المنقطة BM'CN'DPE فيساوي :

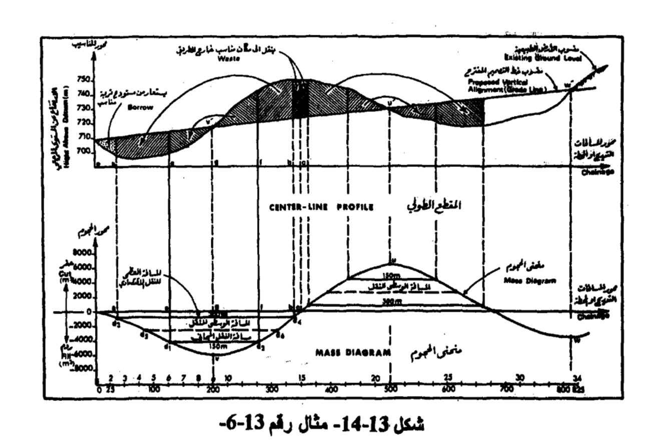
$$V_t = CC' + C'C'' + DD'$$

$$V_t = CC'' + DD'$$

مثال رقم 13-6

الجزء العلوي من الشكل (13-14) ، يبين منسوب الأرض الطبيعية (Existing Groung Level) وفق محور الطريق المقترح وكذلك يبين منسوب خط التصميم المقترح أو وضع محور الطريق في المستوى الرأسي (Proposed Vertical Alignment) . أما الجزء السفلي من الشكل (13-14) ، فيبين منحنى الحجوم المتناسب مع التصميم المقترح للطريق . بدراسة المقطع الطولي للطريق (Center-Line Profile) ومنحنى الحجوم (Mass Diagram) التابع لـه يمكن إستنتاج ما يلي :

1- بإفتراض أن مسافة النقل المجاني (Free Haul) تساوي 150m والحد الأعظمي الإقتصادي للنقل (Economical Limit of Haul) 300m فإنه من المنصوح به إستعارة كمية الردم اللازمة بين المحطة صفر والمحطة 40m (النقطة a من محور المسافات) من مستودع (موقع إمداد للتربة الصالحة للردم) قريب بدلاً من نقل كمية الحفر المعادلة لها والواقعة بين المحطتين 350m و 340 (النقطتان c و a على محور المسافات) .



شكل 13-14- مثال رقم 13-6-

لاحظ أن تعادل كميات الحفر والردم بين المحطتين 350 و 0 لا يعني أتوماتيكياً أن التكالي
ف الكلية للحفر والنقل أصغرية أو إقتصادية .

2- نلاحظ أن كمية الردم المطلوبة بين المحطة صفر والمحطة 40m تساوي $800m^3$ (من منحنى الحجوم تقديرياً ، لاحظ أن كل 1mm يعادل $200m^3$) فلو كان سعر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك مساوياً 0.1 JD. فإن تكاليف عملية الردم اللازمة بين هاتين المحطتين تساوي 80 JD = 0.1 × 800 وذلك بإفتراض أننا نأتي بمادة الردم من مستودع قريب لا يتجاوز بعده 150m .

3- بملاحظة منحنى الحجوم يتضح أن خط التعادل d1d2 ذي الطول 150m (أي مقدار المسافة الحرة المفروضة Assumed Limit of Free Haul يقع بين المحطتين 278m و 128) (f و e على محور المسافات) وبالتالي فإن كمية الحفر المتوفرة بين المحطتين 278 و 200 (f و g على محور المسافات) تعادل كمية الردم المطلوبة بين المحطتين 200m و 128 (g و e على محور المسافات) ومقدارها $1800m^3$ (تقديرياً من منحنى الحجوم) . الآن إذا كان سعر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك يساوي 0.1 J.D. فإن التكاليف الكلية لعملية الحفر والردم اللازمة بين المحطتين 278 و 128 ستكلف :

1800 × 0.1 = 180 J.D.

4- بالنسبة لخط التعادل d3d4 ذي الطول 300m (أي مقدار الحد الأعظمي الإقتصادي للنقل) فإنه يمتد بين المحطتين 340m و 40 (النقطتان b و a على محور المسافات) وبالتالي فإن كمية الحفر المتوفرة بين المحطتين 340m و 278 (النقطتين b و f على محور المسافات) تعادل كمية الردم المطلوبة بين المحطتين 128 و 40 (النقطتين e و a على محور المسافات) ومقدارها $3400\ m^3$ (تقديرياً من منحنى الحجوم وتساوي الفرق بين الأحداثيين الصاديين للنقطتين d4 و d2 على منحنى الحجوم) . حيث أن هذا الحجم بكامله سينقل لمسافة تفوق مسافة النقل المجاني (Freehaul) المفروضة وقدرها 150m ، لذا دعنا نحسب أولاً المسافة الوسطى اللازمة لنقله . تحدد المسافة الوسطى هنا بالبعد بين مركزي ثقل (The Two Centers of Gravity) كتلة الحفر وكتلة الردم . نحصل على المسافة الوسطى تخطيطياً برسم خط أفقي يتوسط المسافة العمودية بين خط التعادل d2 و d1 ذي الطول 150m (مسافة النقل الحر) وخط التعادل d4 و d3 ذي الطول

يتضح أن (14-13) بالرجوع إلى الشكل . (مسافة النقل الأعظمي الإقتصادية) 300m
هذا الخط الممثل للمسافة الوسطى يقطع منحنى الحجوم في النقطة d5 (المحطة 84m
) المحددة لمركز ثقل كتلة الردم (Mass of Embankment) الممتدة بين المقطعين
d3 و d1 (أنظر منحنى الحجوم) كما يقطع منحنى الحجوم في النقطة d6
(المحطة 312m) المحددة لمركز ثقل كتلة الحفر (Mass of Excavation) . وعليه
فإن المسافة الوسطى (Average Haul) تساوي 228m = 84 - 312 لحساب التكاليف
نأخذ بعين الإعتبار بندين ، البند الأول يشمل تكاليف الحفر والنقل لكامل الحجم
($3400m^3$) ولمسافة 150m فقط هي مسافة القل المجاني (Free Haul) المفروضة ،
أما البند الثاني فيشمل تكاليف نقل كامل الحجم لمسافة تساوي الفرق بين مسافة النقل
الوسطى (228m) ومسافة النقل المجاني ،أي : 78m = 150 - 228 وعليه فإن تكاليف
الحفر والنقل لكامل الحجم ولمسافة النقل المجالي البالغة 150m فتساوي :

$$3400 \times 0.1 = 340 \text{ J.D.}$$

أما تكاليف النقل الكامل لحجم ولمسافة النقل الزائد (Overhaul) فتساوي :

$$3400 \times \frac{78}{50} \times 0.033 = 175 \text{ J.D.}$$

وأخيراً تكون التكاليف الكلية لردم المنطقة بين المقطعين d3 و d1 بإستغلال حجم الحفر
المتوفر بين المقطعين d4 و d2 مساوية :

$$\text{Total Cost} = 340 + 175 = 515 \text{ J.D.}$$

وذلك بإفتراض أن سعر حفر ونقل المتر المكعب الواحد لمسافة 150m أو دون ذلك
تساوي 0.1 J.D. ، وسعر نقل المتر المكعب الواحد لكل 50m زيادة عن الـ 150m
يساوي 0.033 J.D. .

5- يمكن بطريقة مشابهة الإستمرار في الحساب والتحليل لبقية أجزاء منحنى الحجوم والمقطع
الطولي .

6- نقاط الذرى (Peaks) من منحنى الحجوم تشير إلى وجود إنتقال من منطقة حفر إلى
منطقة ردم ، على سبيل المثال ، النقطة u من منحنى الحجوم تقابلها النقطة u′ من المقطع

الطولي ، أما نقاط القيعان (Valleys) فتشير إلى وجود إنتقال من منطقة ردم إلى منطقة حفر ، على سبيل المثال ، النقطتان w و v مـن منحنـى الحجـوم تقابلهـا النقطتـان 'w و 'v مـن المقطـع الطولـي وهمـا مـن نقـاط تقـاطـع سطـح الأرض الطبيعيـة مـع خــط التصميـم (Grad Line) .

7- لنذكر بالمصطلحات الهامة التي مرت أثناء الشرح السابق :

أ . النقل المجاني (Free Haul) هـو النقـل الـذي لا يـترتب عليـه أيـة أجـور بـل يكـون (في الغالب) مشمولاً ضمن سعر الحفر شريطة أن لا تتجاوز مسافة النقل حداً معينـاً متفقاً عليه .

ب. النقل الزائد (Overt Haul) هو النقل الذي يتطلب أجواراً عن الفرق بين مسافة النقل المجاني المتفق عليها ومسافة النقل الفعلية .

ملحوظات عامة :

1- التربة ، التي تحفر في مواقع مختلفة من الطريق المقترح أو من جواره أو من أماكن بعيدة، قـد لا تحـافظ علـى الحجــم التــي كــانت تحتلــه قبـل الحفــر بــل ربمــا تتعــرض لتقلــص (Shrinkage) أو تضخـم (Bulking) . علـى سـبيل المثـال ، لـو كـانت هـذه التربـة صخرية فإن حجمها بعد تفتيتها سيزيد بحـدود 40% وقـد يصـل أحيانـاً إلـى ضعـف الحجـم الأصلي (قبل عملية التفتيت) .

2- إذا جرى ردم التربة على طبقات رقيقة (15cm - 10) ورصـت رصـاً كافيـاً فـإن حجـم التربة هذه قد يفوق حجم الحفريات التي استغلت في عملية الردم . لذلك ، إذا تسـاوى حجـم الردم المطلوب في جزء من المشروع مع حجم الحفر في جزء آخر منه ، فإن هذا لا يعنـي أن كمية الحفر ستكون كافية لعملية الطمم الا إذا كانت التربة صخرية أو شبه صخرية. فـي أغلب الأحيان ، سيلزم كمية إضافية من التربة . إن النسبة الإضافيـة هـذه قـد تـتراوح بيـن 5 - 20% تبعاً لخواص وشروط التربة التي ستـردم وخـواص التربـة التـي سيجري الـردم فوقها . فمثلاً الرمل والحصى (Sands and Gravels) يقـل حجماهمـا بحـدود 10% بعد رصه .

3- إذا كان الردم يجري فوق تربة ضعيفة ، كمواقع المستنقعات مثلاً أو إذا كان إرتفاع الردم كبيراً ، 5-10m على سبيل المثال ، فإنه من المتوقع أن تهبط هذه التربة بعض الشيء مما سيزيد من كميات الردم المطلوبة للوصول إلى منسوب التصميم المقرر.

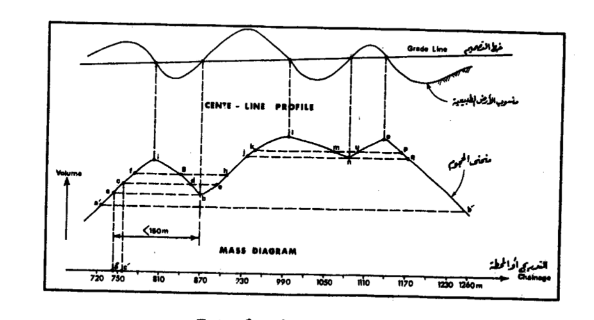
4- بالنظر للملاحظات أعلاه ، فإنه يجري قبل رسم منحنى الحجوم ضرب كميات الحفر أو الردم ، المحسوبة بطريقة المقطع الوسطي أو قانون الموشور أو غيره بعامل يسمى عامل التعادل أو التوازن (Balance Factor) والبعض يسميه عامل الإنكماش أو التضخم (Bulking or Shrinkage Factor) . كأمثلة على عامل التوازن نقول ، إذا كان لدينا تربة معينة كل $1.2m^3$ منها قبل الحفر يكفي ويصلح لردم $1m^3$ فقط ، فعندها يلزم ضرب كميات الحفر من تلك التربة بعامل 0.83 أو ضرب كميات الردم بـ 1.2 إن الرقم 0.83 أو 1.2 يمثل عامل التوازن . أما إذا كان لدينا تربة صخرية $1m^3$ منها قبل الحفر يكفي لردم $1.4m^3$ يلزم ضرب كميات الحفر من تلك التربة بـ 1.4 أو ضرب كميات الردم بـ 0.71 .

5- إذا لم تتعادل كميات الحفر مع الردم (بعد أخذ عامل التوازن بعين الإعتبار) أو كانت مسافات النقل بعيدة والتكاليف بالتالي باهظة ، فلا بد من تعديل وضع خط التصميم لمحور الطريق المقترح (Grade Line) وقد يلزم لإنجاز تعادل الكميات أو تقليل مسافات النقل هذه ، إجراء عدة تجارب على خط التصميم .

مثال رقم 7-13

في الشكل (13-15) ، الذي يبين منحنى الحجوم والمقطع الطولي لجزء من طريق ، عند وضع خطوط التعادل التي تحقق مساحات أصغرية (أي عزوم نقل أصغرية) لقطاعات التعادل نلاحظ ما يلي :

1- بإفتراض أن مسافة النقل الإقتصادي الأعظمي 150m فإنه لا يمكننا تخفيض خط التعادل ab للأسفل ليأخذ مثلاً الوضع a′b′ لأنه في هذه الحالة ، وإن كانت كميات الحفر والردم متعادلة بين المقطعين a′ و b′ ، سيلزم نقل بعض كميات الحفر لمسافة تتجاوز 500m (أنظر على سبيل المثال ، المسافة اللازمة لنقل ناتج الحفريات قرب المحطة 720m إلى موقع الردم قرب المحطة 1270) .



شكل 13-15- مثال رقم 13-7-

2- إذا بقي خط التعادل ab كما هو عليه في الشكل (13-15) فإنه سيتوجب علينا نقل كمية الحفر ″aa إلى مكان مناسب خارج جسم الطريق (أي لا يستخدم للردم) بالإضافة إلى نقل كميات أخرى من الحفر تقع على يمين المقطع b حيث لا يتوفر خط تعادل مناسب هناك (لاحظ منطقة الحفر أو الجزء الصاعد من منحنى الحجوم بين المقطعين j و b) .

3- إذا رفعنا خط التعادل ab ليأخذ وضع cde ، على سبيل المثال ، فإن كميات الحفر الزائدة او الغير معادلة ستصبح ′cc بدلاً من ″aa (أي ستزداد) لكن في نفس الوقت ستقل كميات الحفر الزائدة على يمين المقطع b إذ سيتعادل جزء منها بفضل خط التعادل de والذي هو جزء من خط التعادل cde . إذن لن يترتب على رفع خط التعادل ab للأعلى أية زيادة فعلية في كميات الحفر التي يتوجب صرفها خارج جسم الطريق حيث ما يزيد من جهة اليسار ينقص وبنفس المقدار من جهة اليمين (لاحظ أن حجم الحفر بين المقطعين c و a يساوي حجم الحفر بين المقطعين e و b) . السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو إلى أي مدى نرفع خط التعادل ab للأعلى او بالأحرى ما هو الوضع الذي يحقق لنا التكاليف الأصغرية ؟ الجواب هو الوضع fgh حيث fg = gh والسبب في ذلك أنه إذا حاولنا تخفيض هذا الخط للأسفل فإن مساحة قطاع التعادل ifg ستزداد بمقدار يزيد على المساحة التي سيفقدها قطاع التعادل ghb ، كذلك إذا رفعنا الخط fgh للأعلى فإن مساحة قطاع التعادل ifg ستنقص بمقدار أقل من الزيادة التي سيكسبها قطاع التعادل ghb وعليه فإن وضع خط التعادل الذي يجعل مجموع مساحتي قطاعي التعادل ghb و ifg أصغرياً هو عندما يكون fg = gh .

4- كذلك لا يمكننا تخفيض خط التعادل jnq للأسفل حيث ستتعدى مسافة النقل الحد الأعظمي الإقتصادي المفروض (150m) ولكن يمكن رفعه للأعلى بحيث يحقق تكاليف أصغرية . على سبيل المثال ، إذا أخذنا الوضع kmup بحيث يكون km + up - mu مساوياً للحد الأعظمي الإقتصادي لمسافة النقل فإننا نحقق الحل الإقتصادي المنشود لهذا الجزء من الطريق.

مســـائل

13 - 1 ما هي العناصر الأساسية التي يستند إليها موضوع التمثيل الخطـــي للكميـــات الترابية في مشاريع الطرق ؟

13 - 2 ما هي العوامل الأساسية التي تؤثر في تعيين التوزيع الاقتصادي للكميات الترابية ؟

13 - 3 هل يلزم أخذ عام الانكماش أو التضخم عند رسم منحنى الحجوم؟ لماذا ؟

13 - 4 على ماذا يدل كل من الآتي في منحنى الحجوم ؟

أ – الميل الموجب .

ب – الميل السالب .

ج – أعلى نقطة وأخفض نقطة (نقاط الذري والقيعان).

د – قيمة الإحداثي الصادي عند أي نقطة من المنحنى .

هـــ- الخط الأفقي الذي يقطع منحنى الحجوم .

و – نقاط الانقطاع .

13 - 5 ماذا نعني بقطاع التعادل ؟

13 - 6 ماذا تمثل مساحة قطاع تعادل معين ؟

13 -7 ماذا نعني بـــ " حدود النقل المجاني " ؟

13 - 8 ماهي المسافة الوسطى للنقل وما هو عزم النقل ؟

13 - 9 اعط مثالاً عددياً على عزم النقل .

13-10 ماهي العلاقة بين مساحة قطاع التعادل وحجم وتكاليف الأعمال الترابية ؟

13-11 ماهو الحدّ الأعظمي الاقتصادي لمسافة النقل إذا علمت أن سعر حفر ونقـــل المتر المكعب الواحد يساوي ربع دولار لمسافة (150m) أو دون ذلك وســـعر

نقل المتر المكعب الواحد لكل (50m) زيادة على (150m) يســــاوي عُشـْـر الدولار ؟

12-13 بالرجوع إلى الشكل (13-14) ، علّق على خط التعادل (d_3 d_4) ؟

- 14 -

– الفصل الرابع عشر –

غرس أوتاد الميل

SLOPE STAKING

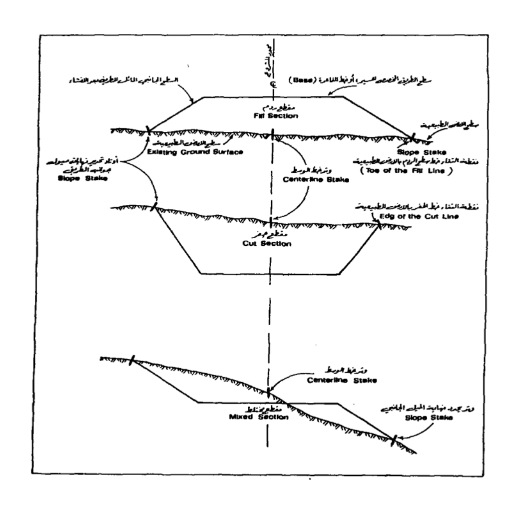
14- غرس أوتار الميل (Slope Staking)

لغايات توقيع وتنفيذ الجدران الاستنادية (Retaining Walls) ومشاريع الطـرق (Highway Constructions) والسـكك الحديدية (Railroads) والمطـارات (Airfields) ...... الخ ، يلزم ايجاد السـبل الميدانيـة الكفيلـة بارشـاد المتعهديـن القـائمين على تنفيذ هذه المشـاريع بحيـث ينسـجم ويتكـامل التصميـم مـع التنفيذ . من أجل ذلك يجري غرس أوتـاد (Stakes) ارشـادية لتحديد خط الوسط للمشروع (Centerline) وكذلك لتحديد نقاط تقـاطع خطـوط الميـول الجانبيـة المقترحـة Proposed Side (Slopes) لمختلف المقاطع العرضية مع سطح الارض الطبيعية (Natural Ground) ولعـل الأمـر يصبـح أكـثر ضـرورة فـي الحالات التي تنفذ فيها المشاريع في مناطق وعرة غير منتظمـة الميل (Uneven Ground) ، الشكل رقم (1-14) .

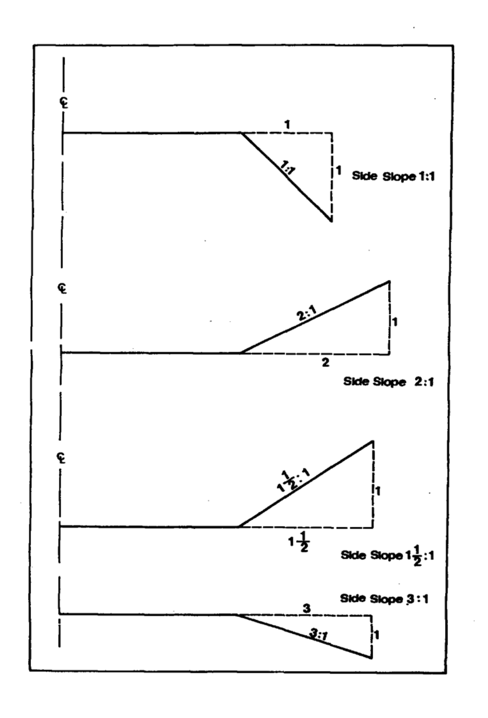
هناك طريقتان رئيسيتان تستخدمان في تعييـن مواقـع ومناسـيب نقاط حدود الانحدار (الميل Slope) للسطوح الجانبية للمقاطع العرضيـة لمختلـف المشـاريع الهندسية نوضحهـا فـي الفقـرات التالية ، انظر الشكل رقم (2-14) الذي يوضـح الميـول الجانبيـة (Side Slopes) لمقاطع عرضية مختلفة .

14-1- تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد بالاستعانة بالمخططات ، الشكل (1-14) .

بعد انجاز كافة الأعمال الميدانية المتعلقة بتعيين مناسيب النقـاط المختارة والممثلة للمقاطع العرضية في سطح الأرض الطبيعية على طول محور المشـروع المعتبر ، يتـم رسـم هـذه المقـاطع بمقياس رسم مناسـب (سـواء للمسـافات الرأسـية أم للمسـافات الأفقية) فيتحدد لدينا طبيعة تضاريس سـطح الأرض الطبيعيـة



الشكل رقم 14-1-غرس الاوتاد المحدّدة للنقاط المميزة من المقاطع العرضية المتتابعة لطريق معين

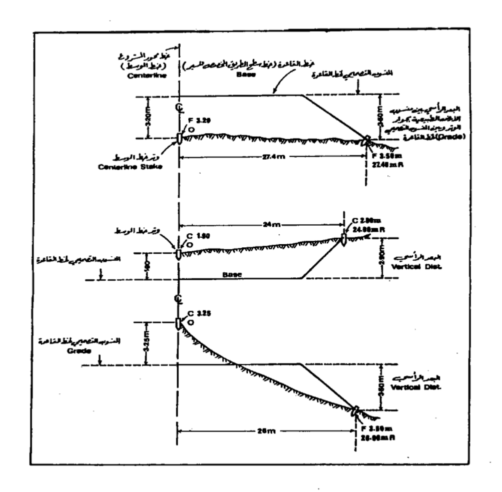


الشكل رقم 14-2-طريقة التعبير عن الميول الجانبية

عند كل محطة من محطات محور المشروع وفي الاتجاه المتعامد مع هذا المحور . الآن يجري اكمال رسم هذه المقاطع باضافة مقطع الطريق العرضي المقترح أو المصمم (القاعدة أو عرض سطح الطريق المخصص للسير Base والميول الجانبية (Side Slopes) وذلك باستخدام نفس المقياسين (الأفقي والرأسي) المطبقين في رسم خط سطح الأرض الطبيعية . الآن ، ومع وجود المقطع العرضي مرسوماً كاملا عند كل محطة على طول محور المشروع ، يمكن قياس (باستخدام مسطرة قياس مناسبة Scale) المسافة الأفقية بين محور المشروع المار بالمقطع العرضي المعتبر ونقطة تقاطع كل من خط الميل الجانبي الأيسر (Left Side Slope) وخط الميل الجانبي الأيمن (Right Side Slope) للمقطع العرضي ذاته مع سطح الأرض الطبيعية.

من السهل الآن نقل هذه المسافات المقيسة على المخطط الى الطبيعة وذلك لكل مقطع عرضي باستخدام الشريط (Tape) وتغرس الأوتاد (Stakes) على يمين ويسار محور المشروع فتتشكل بذلك حدود الانحدار أو الميل للسطوح الجانبية للمقاطع العرضية. بالطبع، وكما في حالة المسافات الأفقية ، يجري أيضاً تحديد منسوب الأرض الطبيعية بجوار كل وتد بالقياس المباشر على المقطع العرضي ذي العلاقة والمرسوم وفق مقياسي رسم أفقي ورأسي مناسبين ، الشكل رقم (3-14) .

وبعد غرس الأوتاد يكتب على كل منها مقدار المسافة الأفقية بين الوتد المعتبر وخط محور المشروع يميناً أو يساراً كما يشار الى مقدار المسافة الرأسية بين سطح الأرض الطبيعية بجوار هذا الوتد والمنسوب التصميمي لخط القاعدة Base) (Elevation عند المقطع العرضي المعتبر .



الشكل رقم14-3- الإشارة إلى البعد الرأسي بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار كل وتد وبين المنسوب التصميمي لخط القاعدة (Grade) وكذلك الاشارة إلى بعد كل وتد عن خط وسط المشروع (خط محور المشروع Centerline).

2-14- تعيين مواقع ومناسيب الأوتاد بالطرق التجريبية (Trial & Error Procedure)

يمكن أيضاً تحديد مواقع اوتاد الميل (Slope Stakes) دون حاجة الى رسم المقاطع العرضية وذلك باللجوء الى طريقة التجربة والخطأ التي يجري انجازها في الميدان استناداً إلى معلومات تصميمية متوافرة بشكل مسبق والى قياسات ميدانية يجري القيام بها في أثناء عملية تحديد مواقع أوتاد الميل .

أما المعلومات التصميمية التي يجب توافرها قبل البدء بالعمل الميداني المتعلق بتحديد مواقع أوتاد الميل فتتلخص بـ (أ) محطة المقطع العرضي المعتبر (Station)، (ب) منسوب قاعدة المقطع العرضي (منسوب نقطة وسط الجزء المخصص للسير من المقطع العرضي (Base Elevation) الذي يستنتج من خلال دراسة المهندس المصمم للمقطع الطولي في سطح الأرض الطبيعية (Profile Study) على طول محور المشروع أو خط الوسط (Centerline) إضافة إلى العوامل الهندسية الأخرى (الميول ومسافات الرؤية ونوع الطريق والعربات .... الخ) (جـ) عرض خط القاعدة (Base Width) ، (د) الميول الجانبيّة (Side Slopes)- بخصوص القياسات والأعمال الميدانية فيمكن أيضاً تلخيصها بـ (أ) البحث عن أقرب علامة منسوب أو نقطة استناد (Bench Mark) ، (ب) تثبيت جهاز التسوية في موقع مناسب قرب المقطع العرضي المعتبر وتعيين منسوب خط نظر الجهاز (Height of Instrument) استناداً الى علامة المنسوب (بأخذ قراءة خلفية B.S. على المسطرة المثبته رأسياً فوق علامة المنسوب) ، (جـ) تعيين منسوب سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط (Centerline Stake) وذلك بقراءة المسطرة (Rod) المثبتة أو التي يجري تثبيتها رأسيا بجوار هذا الوتد

(لاحظ أن وتد خط الوسط لكل مقطع عرضي يكون قد تم غرسه أو تثبيته في الحقل في مرحلة سابقة - مرحلة عمل المقطع الطولي (Longitudinal Profile Leveling) . نوضح فيما يلي الخطوات اللازمة بشأن تحديد مواقع أوتاد الميل بطريقة التجربة والخطأ .

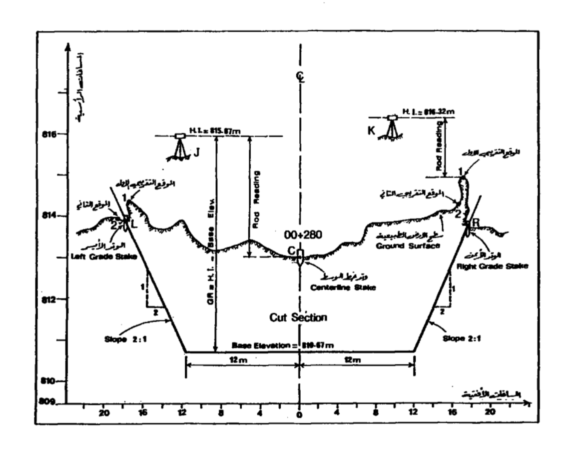
مثال رقم 14-1- الشكل رقم (14-4)

لديك مقطع عرضي بالمواصفات التصميمية التالية :-

- المحطة : Station 00 + 280
- المنسوب التصميمي لخط القاعدة : Base Elevation = 810.67m
- عرض خط القاعدة : Base Width = 24m
- الميول الجانبية : Side Slopes = 2:1

أما المعلومات والقياسات الميدانية فهي كما يلي :

- منسوب نقطة الاستناد................ Bench Mark Elevation = 813.64m
- القراءة الخلفية (Back Sight) على نقطة الاستناد من الموقع J قرب الطرف الأيسر للمقطع: B.S.=2.23m........................ والقراءة الخلفية على نفس نقطة الاستناد من الموقع K قرب الطرف الأيمن من المقطع : B.S. = 2.68m......................
- القراءة على المسطرة (Rod) المثبته رأسيا فوق سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط (Centerline Stake):........................ Rod Reading at Centerline Stake = 2.92m



الشكل رقم -4-14

المطلوب

حساب وبيان موقع كل من وتدي الميول الجانبية (Side Slope Stakes) بالنسبة للوتد الأوسط إضافة الى تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة (أي فرق الارتفاع بين سطح الأرض الطبيعية بجوار كل من الوتدين وخط القاعدة) وذلك بتطبيق طريقة التجربة والخطأ علما بأن وتد خط الوسط محدد وظاهر تماما في الطبيعة .

الحـــل

انظر الشكل (4-14) والجدول رقم (1-14):
يمكن ايجاز حل هذا المثال بالخطوات التالية :-

أولاً : حساب مقدار المسافة الرأسية (Vertical Distance) بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط ومنسوب خط القاعدة . لدينا منسوب خط النظر لجهاز التسوية (Level) في الموقع J (لاحظ الشكل (4-14) يساوي :

Height of Instrument (H.I.) at J = **Elevation of the Beach Mark** + B.S.

H.I. =813.64+2.23 = 815.87m

المنسوب التصميمي المعطى لخط القاعدة يساوي 810.67m وعليه فان القراءة التي يجب أن تقرأ على المسطرة المثبته على سطح الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط كي يكون هذا الوتد مغروساً عند نفس المنسوب التصميمي المقرر أو المقترح له يساوي منسوب خط النظر للجهاز في الموقع J مطروحاً منه المنسوب التصميمي لخط القاعدة ، أي :-

Grade rod (GR) = Requird **Reading** = **H.I.** - **Base Elevation**

Grade Rod (GR) = 815.87 - 810.67 = **5.20m**

الجدول رقم 14-1- الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ، مثال رقم (14-1) ، [م52]

	Elevation of the Bench Mark = 813.64 m Back Sight Reading = 2.23 m Height of Instrument (H.I.) at J = 815.87 m Left Half Section, Station 00.200				Elevation of the Bench Mark = 813.64 m Back Sight Reading = 2.68 m Height of Instrument (H.I.) at K = 816.32 m Right Half Section, Station 00.200			
Side Slope 2:1	وتد وسط المقطع Center (m)	الموقع التجريبي الاول للوتد الأيسر 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيسر 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الايسر Final (m)	وتد وسط المقطع (وتد خط الوسط) Center (m)	الموقع التجريبي الاول للوتد الأيمن 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الايمن 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيمن Final (m)
موقع المسطرة او القضيب Rod Position	00.00	18(L)	19(L)	18.50(L)	00.00	17.50(R)	17.00(R)	18.00(R)
منسوب خط النظر (سطح الميزان) H.I.	815.87	815.87	815.87	815.87	816.32	816.32	816.32	816.32
المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elevation	810.67	810.67	810.67	810.67	810.67	810.67	810.67	810.67
المسافة الرأسية بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز Cut: GR = H.I-Base Elevation	5.20	5.20	5.20	5.20	5.65	5.65	5.65	5.65
القراءة على المسطرة بجوار الوتد المعتبر Rod Reading	2.92	1.62	1.98	2.03	3.37	1.42	2.12	2.66
المسافة الرأسية بين خط القاعدة والوتد المعتبر Vertical Distance Cut → GR-Rod Reading	2.28	3.58	3.22	3.17	2.28	4.23	3.53	2.99
المسافة الأفقية المقابلة للمسافة الرأسية حسب ميل الجانب وتساوي: Side Slope Vertical Distance x Side Slope	4.56	7.16	6.44	6.34	4.56	8.46	7.06	5.98
نصف عرض القاعدة Base Width/2	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط ووتد الميل الأيسر أو الأيمن Offset from the Center Stake to the Left Grade Stake or to the Right Grade Stake.	16.56	19.16	18.44	18.34	16.56	20.46	19.06	17.98
الرموز والقيم التي تؤشر على الأوتاد Mark Stakes	C3.17/18.34 L				C2.28/0		C2.99/17.98 R	

ولكن القراءة الفعلية على المسطرة بجوار الوتد الأوسط هي $Rod_c = 2.92m$ وعليه فان مقدار المسافة الرأسية (مقدار الحفر Cut) بين المنسوب الفعلي بجوار الوتد الأوسط والمنسوب التصميمي لخط القاعدة يساوي :-

Vertical Distance = GR - Rod $_c$ = 5.20 - 2.92 = 2.28m

ثانياً:- حساب المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط (C) ووتد الميل الأيسر (L) .

لنفرض أولا أن سطح الأرض الطبيعية وفق هذا المقطع العرضي منبسط ، بمعنى أن لسطح الأرض قرب كل من الأوتاد L,C,R نفس المنسوب ، أي : =815.87-2.92 812.95m وهذا عبارة عن منسوب خط النظر لجهاز التسوية في الموقع J مطروحا منه القراءة على المسطرة عند الوتد الأوسط ، أو 812.95 = 2.28 + 810.67 وهذا عبارة عن المنسوب التصميمي لخط القاعدة مضافاً اليه المسافة الرأسية أو مقدار الحفر اللازم والمحسوب بجوار الوتد الأوسط . حيث أن الميل المقرر لكل من جانبي المقطع العرضي هو 2:1 لذا فان المسافة الأفقية بين الوتدين L,C تساوي نصف عرض خط القاعدة 24/2=12m + ضعف (لاحظ أن ميل الجانب 2:1) عمق الحفر اللازم عند وتد خط الوسط C والمساوي 2x2.28.

وبالتالي فان المسافة الأفقية بين هذين الوتدين تساوي 12+2(2.28) = 16.56m وبالنظر لكون سطح الارض الطبيعية مائلا للأعلى باتجاه الوتد L وليس منبسطاً ، لذا فان المسافة الأفقية الفعلية بين الوتدين L,C هي أكبر من المقدار المحسوب الافتراضي (16.56m). لذلك دعنا ، بطريقة التجربة والخطأ ، نفترض أن المسافة الأفقية بين الوتدين C , L تساوي 18m (لاحظ أن اتجاه ميل سطح الأرض الطبيعية هو للأعلى وهو نفس اتجاه سطح الأرض الطبيعية وبالتالي فان مقدار الارتفاع

الرأسي بين الوتد L وخط القاعدة أكبر من مقدار الحفر اللازم عند الوتد الأوسط ، أي 2.28m وبالتالي فان المسافة الأفقية الفعلية ستكون أكبر من المسافة الأفقية المحسوبة استناداً الى فرضية استوائية أو انبساط سطح الأرض الطبيعية بين الأوتاد الثلاثة). ولنثبت الآن المسطرة عند موقع افتراضي (1) ، لاحظ الشكل(14-4) على يسار وتد خط الوسط C بمسافة مقدارها 18m ونأخذ عليها القراءة بواسطة جهاز التسوية (Level) من نفس الموقع السابق J ولتكن هذه القراءة : $Rod_{(1)}$ = 1.62 وعليه يكون مقدار المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط C والموقع الافتراضي أو التجريبي (1) للوتد الأيسر L مساوياً نصف عرض خط القاعدة + ضعف المسافة الرأسية الحالية بين الوتد L في موقعه التجريبي (1) وخط القاعدة أما المسافة الرأسية هذه فتساوي : منسوب خط النظر للجهاز عند الموقع J (815.87) مطروحاً منه المنسوب التصميمي لخط القاعدة (810.67) والقراءة على المسطرة قرب الموقع التجريبي (1) : $Rod_{(1)}$ =1.62 ، أي :

Vertical Distance = GR - $Rod_{(1)}$ =(815.87 - 810.67) -1.62
Vertical Distance = 5.20 - 1.62 = 3.58m

وبالتالي فان المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط C والموقع الافتراضي (1) للوتد الأيسر L. تساوي : 12+2(3.58) وهذا المقدار المحسوب (19.16m) هو أكبر من المسافة الأفقية التقريبية (18m) المأخوذة لموقع الوتد الأيسر L . دعنا اذن نحاول مسافة اخرى (تجريبية) أكبر ، أي لنختار موقعاً تقريبياً آخر (2) يبعد عن الوتد الأوسط بمقدار 19m ثم لنأخذ على المسطرة المثبته رأسياً بجوار هذا الموقع قراءة بواسطة جهاز التسوية ومن نفس الموقع السابق J ولنفترض أن هذه القراءة كانت مساوية $Rod_{(2)}$ = 1.98m . استناداً الى ذلك يكون مقدار المسافة الأفقية بين الوتد C والموقع الافتراضي (2) للوتد L

مساوياً : نصف عرض خط القاعدة مضافاً اليه ضعف المسافة الرأسية الحالية بين الوتد L في موقعه التقريبي (2) وخط القاعدة .

وبالنسبة للمسافة الرأسية هذه فتساوي :

Vertical Distance = GR - Rod $_{(2)}$=5.20 - 1.98 = 3.22m

وعليه تكون المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط C والموقع التجريبي (2) للوتد الأيسر L مساوية :12+2(3.22) =18.44m ويلاحظ أن هذا المقدار يختلف أيضاً عن المسافة الأفقية التقريبية (19m) المأخوذة لموقع الوتد L عند (2) لذلك دعنا نحاول موقعاً تقريبياً آخر، عسى أن يكون الموقع النهائي) (Final يبعد بمقدار 18.50m عن يسار الوتد الأوسط C . كذلك دعنا نفترض أن القراءة على المسطرة المثبتة رأسياً بجوار الموقع التقريبي (3) كانت : Rod $_{(Final)}$ =2.03m عندها تكون المسافة الرأسية بين الموقع النهائي للوتد L وخط القاعدة مساوية :

GR - Rod $_{(Final)}$ =5.20 -2.03 =3.17m

وبالتالي فان المسافة الأفقية بين الوتد C والموقع الافتراضي الأخير للوتد L تساوي : نصف عرض خط القاعدة + ضعف المسافة الرأسية الخاصة بالموقع الأخير للوتد L (لاحظ أن مقدار ميل جانب المقطع العرضي (Side Slope) يساوي 2:1، أي :12 + 2(3.17) = 18.34m وهنا نلاحظ أن المسافة الأفقية الافتراضية (18.50) للوتد L تقارب المسافة المحسوبة (18.34m) حيث لا يتجاوز الفرق بينهما ما يمكن قبوله عملياً في مثل هذه الأعمال (نصف متر تقريباً). لذا نغرس الوتد L في موقع يقع على يسار وتد خط المنتصف C بمقدار القيمة المحسوبة (18.34m) مفترضين أن القراءة على المسطرة عند الموقع النهائي المعتمد (المحسوب 18.34m) ستكون مساوية بتقريب جيد القراءة على المسطرة عند الموقع التقريبي الأخير

Rod Final الذي يبعد مسافة 18.50m عن يسار الوتـد الأوسـط C .

ثالثا : حساب المسافة الأفقية بين الوتـد الأوسـط C والوتـد الأيمـن R الشكل(4-14) .

لحساب هذه المسافة فاننا نتبع نفس الأسلوب المتبع في حسـاب وتحديد موقـع الوتـد الأيسـر L مـع ملاحظـة أن عمـق الحفـر اللازم عند الوتد الأوسط C هو نفس المقدار المحسـوب سـابقاً (2.28m) وأن المسـافة الأفقيـة بيـن الوتـد الأوسـط C الوتـر الأيمن R ستكون مساوية 16.56m بافتراض أن سطح الأرض منبسط ، أي أن له نفس المنسـوب عنـد الأوتـاد L,C,R, أنظـر الجدول رقم (14-1)..

رابعاً : تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار كـل من الوتدين L,R ومنسوب خط القاعدة .

حيث أنه قد تم تعيين منسوب خط نظر الجهاز (جهاز التسوية) عند كل من الموقعين J,K, وتم أيضاً تحديد الموقع النهائي لكل من الوتدين L,R, على يسار ويمين الوتد الأوسط ، لذلـك فانـه بـأخذ القـراءة بواسـطة جهـاز التسـوية علـى المسـطرة المثبتـة رأسياً بجوار كل مـن الوتديـن L,R, يتحـدد وبسـهولة منسـوب الأرض الطبيعية بجوار كل من هذين الوتدين . وبالتـالي فانـه بمعرفـة منسـوب خـط القـاعدة يتـم حسـاب المسـافة الرأسـية المطلوبة، أنظر الجدول رقم(14-1) .
الجدول رقم(14-2) يعطي ملخصاً للحسابات الواردة في المثال رقم(14-1).

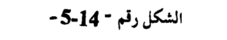
الجدول رقم 14-2- ملخص الحسابات للمثال رقم(14-1)

المحطة Station	منسوب سطح الميزان أو ارتفاع الجهاز H.I. (m)	القراءة على المسطرة بجوار الوتد Rod Reading (m)	منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد Elevation (m)	المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elev. (Grade) (m)	المسافة الرأسية بين الوتد وخط القاعدة Elevation Distance (cut or Fill) (m)	الرموز والمقادير التي تكتب على الأوتاد الثلاثة Mark Station L	C	R
00.00+200 00.00C	815.87	2.92	812.95	810.67	C2.28		C2.28/00.00	
18.34L	815.87	2.03	813.84	810.67	C3.17	C3.17/18.34L		
17.98R	816.52	2.86	813.66	810.67	C2.99			C2.99/17.98R

مثال رقم 14-2- الشكل رقم 14-5-

مقطع عرضي لطريق بالمواصفات التالية :

- المحطة : station:12+300
- سطح الأرض الطبيعية ينحدر من الأعلى جهة اليسار (from High on the Left) إلى الأخفض جهة اليمين (to Low on the Right).
- منسوب خط النظر (سطح الميزان) في الموقع J : H.I. at J=54.65m ومنسوبه في الموقع H.I. at K=53.26m:K (أنظر الجدول رقم(14-3) حيث أشير في رأس الجدول إلى منسوب علامة الاستناد (Bench Mark) وإلى القراءة الخلفية عليها من الموقعين J,K)
- المنسوب التصميمي لخط القاعدة : Base Elevation = 60.00m
- عرض خط القاعدة : Base Width=12.00m لاحظ أن خط محور المشروع (خط الوسط Centerline) يمر من منتصف خط القاعدة.
- الميول الجانبية Side Slopes = 1.5 : 1



الشكل رقم -5-14-

الجدول (3-14) ، الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ، [م52]

Side Slope : 1.5 : 1	Elevation of the Bench Mark = 52.79 m Back Sight Reading = 1.86 m Height of Instrument (H.I.) at J = 54.65 m Left Half Section, Station 12 + 300				Elevation of the Bench Mark = 52.79 m Back Sight Reading = 0.47 m Height of Instrument (H.I.) at K = 53.26 m Right Half Section, Station 12 + 300			
	وتد وسط المقطع Center (m)	الموقع التجريبي الاول للوتد الأيسر 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيسر 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الايسر Final (m)	وتد وسط المقطع (وتد خط الوسط) Center (m)	الموقع التجريبي الاول للوتد الأيمن 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الايمن 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيمن Final (m)
موقع المسطره او التقضيب Rod Position	00.00	18.00(L)	22.50(L)	20.50(L)	00.00	30.50(R)	27.50(R)	26.50(R)
منسوب خط النظر (سطح الميزان) H. I.	54.65	54.63	54.65	54.65	53.26	53.26	53.26	53.26
Base Elevation المنسوب التصميمي لخط القاعدة	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
المسافة الرأسية بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز Fill: GR=Base Elevation-H.I.	05.35	05.35	05.35	05.35	06.74	06.74	06.74	06.74
القراءة على المسطرة بجوار الوتد المعتبر Rod Reading	02.10	00.65	00.10	00.45	00.71	03.15	02.95	02.85
المسافة الرأسية بين خط القاعدة والوتد المعتبر Vertical Distance Fill→ GR+Rod Reading	07.45	06.00	05.45	05.80	07.45	09.89	09.69	09.59
المسافة الأفقية المقابلة للمسافة الرأسية حسب ميل الجانب Side Slope وتساوي : Vertical Distance x Side Slope	11.18	09.00	08.18	08.70	11.18	14.84	14.54	14.39
نصف عرض القاعدة Base Width/2	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط ووتد الميل الأيسر أو الأيمن Offset from the Center Stake to the Left Grade Stake or to the Right Grade Stake.	23.18	21.00	20.18	20.70	23.10	26.84	26.54	26.39
الرموز والقيم التي تؤشر على الأوتاد Mark Stakes	F 5.80/20.70 L				F 7.45/00		F 9.59/26.39 R	

- الوتد الأوسط (Center Stake) مغروس في الأرض الطبيعي وفي الموقع المحدد له .

المطلوب :

1. تحديد موقع كل من وتدي الميول الجانبية Side Slope Stakes الخاصة بهذا المقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط .
2. تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة. مع مراعاة أن يكون الحل بطريقة التجربة والخطأ استناداً إلى معطيات التصميم الواردة في نص المسألة والى القياسات الميدانية الواردة في الجدول رقم(14-3).

الحل :

لحل هذا المثال نتبع الخطوات التالية، أنظر الشكل رقم(14-6) والجدولين(14-3) و(14-4)

1- نختار مقياساً مناسباً للمسافات الأفقية (Horizontal Scale) وآخر للمسافات الرأسية (Vertical Scale) ونرسم ، بالاستعانة بالمعلومات الواردة في نص المسألة وبالقياسات الميدانية المشار اليها في الجدول رقم(14-3) ، مقطعاً عرضياً يظهر خط القاعدة والميلين الجانبين (The Two Side Slopes) مع ملاحظة إن كان هذا المقطع حفراً (Cut Section) أو ردماً (Fill Section) أو مختلطاً (Mix Section) وذلك بمقارنة ودراسة المنسوب المقترح لخط القاعدة ومنسوب خط النظر ومنسوب الارض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط .

2- نجري الحسابات الخاصة بتعيين مواقع ومناسيب الأوتاد (الوتدين على يسار ويمين الوتد الأوسط) باتباع نفس الأسلوب والخطوات الواردة في المثال رقم(14-1) ونرتبها في جدول مناسب، أنظر الجدول رقم(14-3) .

3- نرسم أو نضيف علـى المقطـع العرضـي، المشـار اليـه فـي البنـد 1 أعلاه، خط سطح الأرض الطبيعية استناداً الـى المناسيب والمواقـع المحددة لبضع نقـاط مميزة مـن المقطـع العرضـي (الوتـد الأوسـط والوتدين الأيسر والأيمن) التي تم حسـابها وادخالهـا فـي الجدوليـن (14-3) و(14-4) .

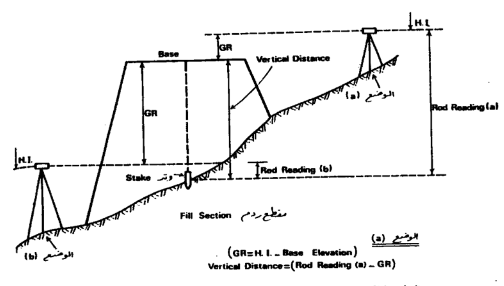
4- بانجاز الجدولين ، وباكمال رسم المقطع العرضي نكون قد أنجزنا كافة متطلبات المسألة .

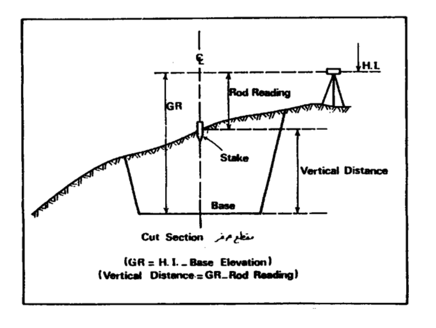
ملحوظة :

الشـكل رقـم(14-6) يوضـح مفهـوم المسـافات والقـراءات الـواردة فـي الجدولين(14-1) و(14-3) .

الجدول رقم 14-6- ملخص الحسابات للمثال رقم(14-2)

المحطة Station	منسوب سطح الميزان او ارتفاع الجهاز H.I. (m)	القراءة على المسطرة بجوار الوتد Rod Reading (m)	منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد Elevation (m)	المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elev. (Grade) (m)	المسافة الرأسية بين الوتد وخط القاعدة Elevation Distance (cut or Fill) (m)	الرموز والمقادير التي تكتب على الأوتاد الثلاثة Mark Stakes		
						L	C	R
12 + 300 00.00C	54.65	2.10	52.55	60.00	F7.45		F7.45/00.00	
20.70L	45.65	0.45	54.20	60.00	F5.80	F5.80/20.70L	.	
26.39R	53.26	2.85	2.85	60.00	F9.59			F9.59/26.39R





الشكل 14-6 توضيح المسافات والقراءات الواردة في الجدولين 14-1 , 14-3

[م52]

مثال رقم(14-3) الشكل رقم(14-7) .

مقطع عرضي لطريق بالمواصفات التالية:

- المحطة : Station: 16+40
- سطح الأرض الطبيعية عند هذه المحطة ، وفي الاتجاه المتعامد مع محور المشروع، يتحدر من الأسفل (الأخفض) جهة اليسار الى الأعلى جهة اليمين

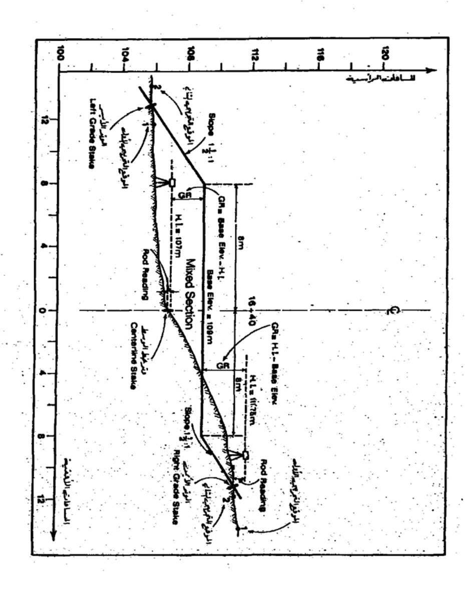
Sloping from a low Area on the Left to a Higher Area on the Right

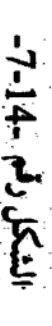
- منسوب خط النظر (ارتفاع الجهاز .H.I) عند الموقع J :
  H.I.a t J = 107.00m ومنسوبه في الموقع K :
  H.I. at K = 111.75m (أنظر الجدول رقم(14-5)، حيث أشير في رأس الجدول الى منسوب علامة الاستناد (Bench Mark) والى القراءة الخلفية عليها من الموقعين (J,K) .
- المنسوب التصميمي : Proposed Base Elevation = 109.00m
- عرض خط القاعدة Base Width = 12.00m وخط محور المشروع يمر من منتصف خط القاعدة.
- الميول الجانبية : Side Slopes = 1.5:1
- الوتد الأوسط (Center Stake) مغروس في الأرض الطبيعية وظاهر بوضوح في الموقع المحدد له على محور المشروع عند المحطة 16+40

المطلوب :-

1- تحديد موقع كل من وتدي الميول الجانبية الخاصة بهذا المقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط

2- تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتدين ومنسوب خط القاعدة وذلك بطريقة التجربة والخطأ استناداً إلى معطيات التصميم الواردة في نص المسألة والى القياسات الميدانية المشار اليها في الجدول رقم(14-5).





الشكل رقم -14-7-

الجدول رقم 14-5- الحسابات الخاصة بمواقع الأوتاد للمقاطع العرضية المختلفة ، مثال رقم 14-3-

Side Slope : 1.5 : 1	Elevation of the Bench Mark = 105.45 m Back Sight Reading = 1.55 m Height of Instrument (H.I.) at J = 107.00 m Left Half Section, Station 16 + 40				Elevation of the Bench Mark = 105.45 m Back Sight Reading = 6.30 m Height of Instrument (H.I.) at K = 111.75 m Right Half Section, Station 16 + 40			
	وتد وسط المقطع Center (m)	الموقع التجريبي الأول للوتد الأيسر 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيسر 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيسر Final (m)	وتد وسط المقطع (وتد خط الوسط) Center (m)	الموقع التجريبي الأول للوتد الأيمن 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيمن 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيمن Final (m)
موقع المسطرة او القضيب Rod Position	00.00	11.75(L)	14.00(L)	12.75(L)	00.00	13.75	11.75	11.00
منسوب خط النظر (سطح الميزان) H.I.	107.00	107.00	107.00	107.00	111.75	111.75	111.75	111.75
المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elevation	109.00	109.00	109.00	109.00	109.00	109.00	109.00	109.00
المسافة الرأسية بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز Cut: GR = H.I-Base Elevation Fill: GR = Base Elevation-H.I.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.75	2.75	2.75	2.75
القراءة على المسطرة بجوار الوتد المعتبر Rod Reading	0.15	1.15	1.30	1.30	4.90	0.55	0.75	0.75
المسافة الرأسية بين خط القاعدة والوتد المعتبر Vertical Distance Cut → GR – Rod Reading Fill → GR + Rod Reading	2.15 (GR+Rod Re.)	3.15 (GR+Rod Re.)	3.30 (GR+Rod Re.)	3.30 (GR+Rod Re.)	2.15 (Rod Re.–GR)	2.00 (GR–Rod Re.)	2.00 (GR–Rod Re.)	2.00 (GR–Rod Re.)
المسافة الأفقية المقابلة للمسافة الرأسية حسب ميل الجانب وتساوي Side Slope : Vertical Distance x Side Slope	3.25	4.75	4.95	4.95	3.25	3.00	3.00	3.00
نصف عرض القاعدة Base Width/2	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط ووتد الميل الأيسر أو الأيمن Offset from the Center Stake to the Left Grade Stake or to the Right Grade Stake.	11.25	12.75	12.95	12.95	11.25	11.00	11.00	11.00
الرموز والقيم التي تؤشر على الأوتاد Mark Stakes	F3.30/12.95 L				F2.15/0		C2.00/11.00 R	

الحل :-

يمكن اتبعاع الخطوات التالية وانجاز المطلوب :-

1- باختيار مقياس رسم مناسب للمسافات الأفقية وآخر للمسافات الرأسية ، يمكن رسم مقطع عرضي للطريق عند المحطة 40+16 بمعلومية منسوب وعرض خط القاعدة والميول الجانبية . وبهذا يمكن من خلال المعلومات الواردة في نص المسألة رسم كامل المقطع العرضي عند المحطة المعتبرة باستثناء خط سطح الأرض الطبيعية . لاحظ أن المعلومات المعطاة والمتعلقة بعرض ومنسوب خط القاعدة وبمنسوب خط النظر لجهاز التسوية وبمنسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد الأوسط (نستنتج هذا المنسوب بمعلومية منسوب خط النظر .H.I والقراءة على المسطرة المثبتة راسياً بجوار الوتد الأوسط) تكفي لتمييز هوية أو نوع المقطع العرضي ان كان حفراً أو ردماً أو مختلطاً .

2- نجري الحاسابات الخاصة بتعيين مواقع ومناسيب الوتدين الأيسر والأيمن باتباع نفس الأسلوب والخطوات الواردة في المثال رقم (14-1) ونرتبها في جدول مناسب ، أنظر الجدول رقم(14-5).

3- نرسم أو نضيف على الممقطع العرضي ، المشار اليه في البند أعلاه ، خط سطح الأرض الطبيعية وذلك بعد أن يكون قد استنتجنا مناسيب ومواقع الوتد الأوسط وكل من الوتدين الأيسر والأيمن وتمّ ترتيب الحسابات الخاصة بها في جداول مناسبة ، أنظر الجدولين(14-5)،(14-6).

4- بانجاز الجدولين وباكمال رسم المقطع العرضي عند المحطة 40 + 16 نكون قد أنجزنا كافة المتطلبات .

ملحوظــــة :

لاحظ أن المواقع التجريبية (2),(1) لكـل مـن الوتديـن الأيسـر والأيمن والمناسيب المقيسـة والمحسوبة لهمـا تُسهم فـي رسـم أو بيـان طبيعـة خـط سـطح الأرض الطبيعيـة عند المحطـــة 16+40 الخاصـة بـالمقطع العرضـي المعتبر وذلك الـى جـانب المواقـع والمناسيب المحسوبة والنهائية (Final) للوتد الأوسـط ولكـل مـن الوتدين الجانبين (الأيسر والأيمن).

ملحوظات :

1- لجميع أشكال المقاطع العرضيـة (حفر ، ردم ، مختلـط) يكـون مقدار فرق المنسوب بيـن خـط القـاعدة وخـط نظـر الجهـاز ، أي GR مساوياً :

GR = H.I. - Base Elevation

أو

GR= Base Elevation - H.I.

2- يحسب مقدار المسافة الرأسية (Vertical Distance) بينَ خـط القـاعدة وخـط نظـر الجهـاز باسـتخدام احــدى العلاقــات الثــلاث التالية:-

Vertical Distance = GR - Rod Reading
Vertical Distance = GR+ Rod Reading
Vertical Distance = rod Reading - GR

الجدول رقم -14-6- ملخص الحسابات للمثال رقم-14-3-

المحطة Station	منسوب سطح الميزان او ارتفاع الجهاز H.I. (m)	القراءة على المسطرة بجوار الوتد Rod Reading (m)	منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتد Elevation (m)	المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elev. (Grade) (m)	المسافة الرأسية بين الوتد وخط القاعدة Elevation Distance (cut or Fill) (m)	الرموز والمقادير التي تكتب على الأوتاد الثلاثة Mark Stakes		
						L	C	R
16 + 40 00.00C	107.00	0.15	106.85	109.00	F2.15		F2.15/00.00	
12.95L	107.00	1.30	105.70	109.00	F3.30	F3.30/12.95L		
11.00R	111.75	0.75	111.00	109.00	C2.00			C2.00/11.00R

3- عند تحديد المواقع التجريبية لأوتاد الميول الجانبية (Slope Stakes) على يمين ويسار خط الوسط فانه يجري الاستئناس بالمسافة المحسوبة بافتراض أن سطح الأرض الطبيعية له نفس المنسوب في الوسط وعلى يمين ويسار خط الوسط (منبسط) حيث تزداد هذه المسافة المحسوبة اذا كان ميل سطح الأرض الطبيعية بنفس اتجاه ميل السطح الجانبي للمقطع وتقلل (تنقص) اذا كان ميل سطح الأرض الطبيعية عكس اتجاه ميل السطح الجانبي للمقطع ، أنظر على سبيل المثال الحالة الواردة في المثال رقم(14-2) والشكل رقم(14-5) حيث كان اتجاه ميل سطح الأرض الطبيعية في النصف الأيسر للمقطع معاكساً لاتجاه ميل السطح الجانبي الأيسر وكانت المسافة المحسوبة لبعد الوتد الجانبي الأيسر بافتراض أن سطح الأرض منبسط 23.18m لذلك اعتمدنا مسافة للموقع التجريبي الأول للوتد الجانبي الأيسر قدرها 18m وهي أصغر من المسافة المحسوبة (23.18m). كذلك بالنسبة للنصف الأيمن لهذا المقطع ، كانت المسافة المحسوبة لبعد

الوتد الجانبي الأيمن بافتراض أن سطح الأرض متوسط 23.18m (نفس المقدار السابق بالطبع) وحيث أن اتجاه ميل سطح الأرض الطبيعية هو بنفس اتجاه ميل السطح الجانبي الأيمن للمقطع لذلك اعتمدنا الموقع التجريبي الأول للوتد الجانبي الأيمن بمسافة قدرها 30.50m وهي أكبر من المسافة المحسوبة (23.18m).

4- تعتمد دقة وعدد المحاولات التجريبية لتحديد مواقع أوتاد الميل الجانبية (Side Stakes) على (أ) خبرة المساح (ب) فرق الارتفاع بين سطح الأرض الطبيعية بجوار وتد خط الوسط وسطح الأرض الطبيعية بجوار كل من الوتدين الجانبيين (الأيمن والأيسر). غالبا ، لا يحتاج الأمر لأكثر من ثلاث محاولات .

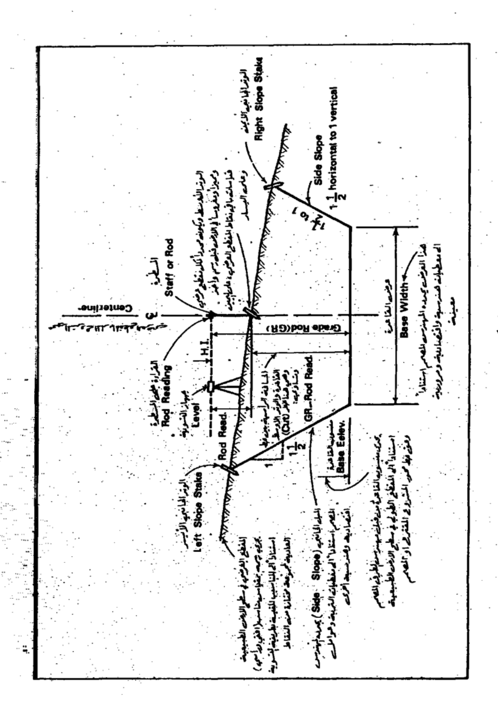
5- عندما يكون سطح الأرض الطبيعية (Natural Ground) متوسطا نسبيا Relatively Level فانه يمكن من موقع واحد لجهاز التسوية (قرب المقطع العرضي المعتبر) إجراء كافة القراءات اللازمة لتحديد قيم المسافات الرأسية (فروق الارتفاعات ، حفر ، ردم) اللازمة بجوار الأوتاد الثلاثة والخاصة بكل مقطع عرضي . وعلى أي حال ، تبقى وعورة الأرض هي العامل المسيطر بهذا الشأن . كذلك يجدر بالذكر أنه لا بد من الاستناد (سواء عند الابتداء أو عند الانتهاء) الى علامات منسوب (Bench Marks) دقيقة ومناسبة على مقربة من المقاطع العرضية المتتابعة على طول محور المشروع .

6- ان طرق حساب اشتقاق المناسيب (Elevation) المختلفة بجوار الأوتاد هي نفسها تماما المستخدمة في طرق التسوية الاعتيادية (Ordinary Differential Leveling) .

7- تكون عادة أوتاد خط الوسط (Center Stakes) ظاهرة في الطبيعة ومغروسة تماماً في الأرض ومؤشر عليها (بوضوح) رقم المحطة (Station) أما تباعدات أوتاد خط الوسط هذه فتتراوح بين 10m إلى 50m .

8- من خلال معطيات المسألة (Given Material) حول المقطع العرضي المعتبر ، التي تشتمل على المنسوب التصميمي لخط القاعدة إضافة إلى عرض القاعدة والميول الجانبية ، يمكن رسم كروكي (Sketch) لهذا المقطع العرضي ويكامل أجزائه باستثناء خط سطح الأرض الطبيعية . بالنسبة لخط سطح الأرض الطبيعية (Natural Ground Line) فيجري رسمه أو تحديده بعد اكمال جدول الحسابات الخاص بالمقطع حيث ستكون وقتئذ مناسيب الأوتاد الثلاثة (الأوسط والأيسر والأيمن) إضافة إلى مناسيب المواقع التجريبية قد تحددت جميعاً .

9- اذا جرى رسم جميع المقاطع العرضية لسطح الأرض الطبيعية (بعد انجاز كافة الأعمال الميدانية المتعلقة بتعيين مناسيب النقاط المختارة والممثلة للمقاطع العرضية المختلفة والمتتابعة) عند المحطات المختارة على طول محور المشروع وأكملت هذه المقاطع جميعاً بإضافة مقطع الطريق العرضي المقترح أو المصمم (القاعدة Base) والميول الجانبية (Side Slopes) الى المقطع العرضي للأرض الطبيعية عند كل محطة فيمكن عندها قياس (باستخدام مسطرة قياس Scale) المسافة الأفقية بين الوتد الأوسط للمقطع العرضي المعتبر ونقطة تقاطع كل من خط الميل الجانبي الأيسر (Left Side Slope) وخط الميل الجانبي الأيمن للمقطع العرضي ذاته مع سطح الأرض الطبيعية ومن ثم يجري نقل هذه المسافات الى الطبيعة على يمين ويسار كل وتد أوسط لتحديد موقع الوتد الأيسر والوتد الأيمن لكل مقطع عرضي على طول محور المشروع (باستخدام الشريط)،(8-14).



الشكل رقم -14-8-

10- يحتاج انجاز القياسات الميدانية المتعلقة بتحديد مواقع الأوتاد الى فريق من أربعة أشخاص ، الأول لمراقبة العمل وتدوين القراءات (Supervisor) والثاني لتشغيل الجهاز وأخذ القراءات (Instrument Operator) والثالث لحمل المسطرة والتنقل (Rodholder) والرابع لمساعدة الثالث في قياس المسافات الأفقية بين الأوتاد وغرس الأوتاد بتوجيهات من المراقب .

11- يكتب على أحد وجهي كل وتد (الأوسط والأيمن والأيسر) رقم المحطة (Station) إضافة إلى بعد الوتد عن يمين أو يسار الوتد الأوسط . أمّا على الوجه الثاني للوتد فيكتب مقدار فرق الارتفاع، حفر Cut أو ردم Fill . عادة يكتب رقم المحطة وبعد الوتد عن يمين أو يسار الوتد الأوسط على الوجه الخلفي بينما يكتب عمق الحفر أو الردم على الوجه الأمامي ، أي باتجاه تزايد المحطات .

12- هناك اسمان بمعنى واحد للأوتاد المستخدمة في أعمال الإنشاء والتنفيذ لمشاريع الطرق والسكك الحديدية والمطارات والمجاري ... الخ ، أوتاد الميل (Slope Stakes) وأوتاد المنسوب التصميمي (Grade Stakes) . أن كلا الاسمين أو النوعين من الأوتاد يستخدمان لغرضين أساسيين هما أ) تحديد نقطة التقاء خط ميل السطح الجانبي (الأيسر أو الأيمن) للمقطع العرضي مع سطح الأرض الطبيعية ، ب) تحديد مقدار فرق الارتفاع (حفر أو ردم) بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار الوتدوالمنسوب التصميمي المقترح أو المطلوب .

1- حسب نوع المشروع وطبوغرافية منطقة المشروع في موقع المقطع العرضي إضافة إلى ظروف وشروط العمل الميداني ، يمكن غرس الوتد وفق أسلوبين هما(أ) بأن يغرس حتى يصبح منسوب رأس الوتد مساوياً للمنسوب التصميمي المطلوب تحقيقه

عند موقع الوتد (ب) بأن يغرس في الأرض على عمق كاف لتثبيته ثم يكتب على أحد وجهيه مقدار فرق الارتفاع اللازم (حفر أو ردم) . تستخدم هذه الأساليب في التأشير ، عادة ، في مشاريع المجاري والأرصفة والطرق والسكك ... الخ .

في حالة غرس الأوتاد المستوى التي تصبح فيه مناسيب رؤوسها مساوية لمناسيب التصميم المقررة عند مواقع هذه الأوتاد فانه يجري عادة دهان رؤوس الأوتاد بلون مميز – كاللون الأحمر مثلا – كي يسهل ملاحظتها وتمييزتها عن غيرها من الأوتاد عند التنفيذ وكي تشير رؤوسها بوضوح الى المنسوب المطلوب الوصول اليه .

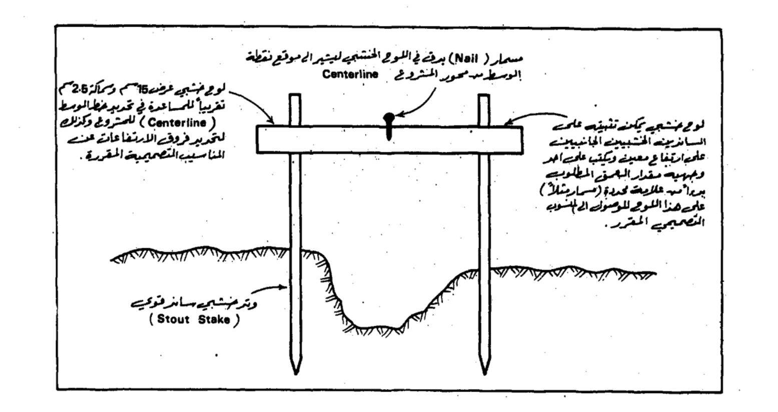
بالطبع يمكن أن نتصور بسهولة صعوبة غرس الأوتاد دائما وفي كل الظروف بالمقادير المطلوبة لذلك وفي مثل هذه الحالات تجري الاشارة بوضوح الى المنسوب المطلوب الوصول اليه ان كل أعلى أو أخفض من رأس الوتد وبأي مقدار (أي الاشارة إلى الإتجاه والمقدار).

في مشاريع المجاري على سبيل المثال ، يجري اما (1) توجيه خط نظر المنظار (الثيودوليت) بحيث يصبح ميله عن المستوى الأفقي بنفس الميل المطلوب لخط التصميم المعتبر (Grade Line) وعلى ارتفاع معلوم وثابت فوق منسوب خط التصميم أو (2) مدّ خيط على ارتفاع معين فوق خط التصميم وبنفس ميل خط التصميم .

في الحالة الأولى (توجيه خط نظر المنظار) فانه لتحديد موقع نقطة ما على خط التصميم ، يجري رفع وتخفيض مسطرة مدرجة مثبتة بشكل رأسي حتى يقرأ عليها بواسطة الجهاز مقدار يساوي الفرق بين منسوب خط النظر ومنسوب خط التصميم وهو مقدار ثابت يطلق عليه Grade Rod.

في الحالة الثانية (مد الخيط) يجري قياس مسافة رأسية للأسفل تساوي فرق المنسوب الثابت بين أي نقطة على الخيط المشدود وبين خط التصميم المطلوب وذلك عند أي نقطة على طول هذا الخيط المشدود فيتعين بذلك العدد اللازم من النقاط التي لها نفس منسوب خط التصميم .

يجري عادة تقسيم خط محور المشروع الى عدة محطات بتباعدات متتالية « 15-20 في الأراضي المتوسطة و 8-10m في المناطق الوعرة » ويحسب عند كل محطة مقدار فرق الارتفاع بين خط المنسوب المطلوب وخط الناظر (أي Grade Rod) ومن ثم يغرس وتدان على جانبي محور المشروع عند كل محطة من هذه المحطات ويثبت لوح خشبي (على الوتدين) بشكل أفقي ويدق عليه مسمار بحيث يكون منسوب المسمار مساويا لمنسوب خط الناظر عند المحطة المعتبرة . الآن يجري شد خيط بين كل مسمارين متجاورين (أي محطتين متجاورتين) ويحدد موقع أي نقطة بين المحطتين على خط التصميم المقترح بقياس مسافة رأسية تليته للأسفل (بدءا من الخيط) ويسمى مقدار الـ Trade Rod الشكل رقم (9-14) [33م] .



الشكل-9-14- طريقة الخيط المشدودة في تحديد الاعماق المطلوبة للوصول إلى المنسوب التصميمي

مســـــائل

14 - 1 ما المقصود بأوتاد الميل ؟

14 - 2 ماذا نقصد بميل منحدر مقداره (1 : 3) ؟ ارسم كروكي في حالتي الحفر والردم لمقطع عرضي .

14 - 3 باستخدام نفس معطيات المثال رقم (14 - 2) فيما عداً :

* المنسوب التصميمي لخط القاعدة : (60.75m) .
* عرض خط القاعدة : (20.00 m) .
* الميول الجانبية : (1 : 2) .

المطلوب :

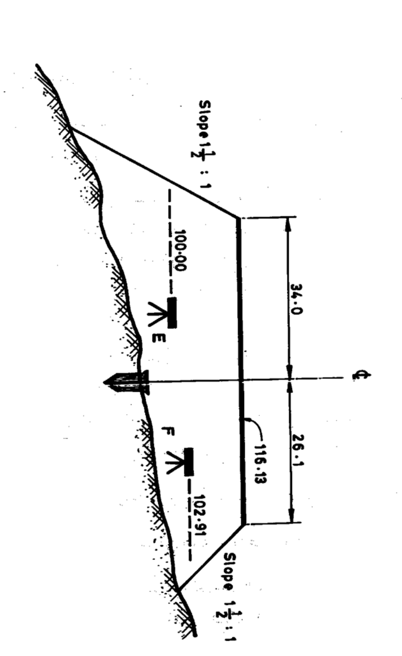
1 – تحديد موقع كل من وتدي الميول الجانبية الخاصة بالمقطع العرضي بالنسبة للوتد الأوسط .

2 – تعيين المسافة الرأسية بين منسوب الأرض الطبيعية بجوار هذين الوتديـــن ومنسوب خط القاعدة .

14 - 4 ما الفرق بين أوتاد الميل وبين أوتاد المنسوب التصميمي ؟

14 - 5 اذكر بعض الأساليب التي يتم بموجبها غرس أوتاد الميل في الميدان .

14 - 6 ما هي الإجابات الصحيحة لعلامات الاستفهام الواردة في الجدول التالي استناداً إلى البيانات الواردة في الجدول والشكل التاليين ؟


Slope 1½ : 1
100·00
E
34·0
℄
26·1
116·13
F
102·91
Slope 1½ : 1

	Elevation of the bench Mark = 98.80 Back Sight Reading = 1.20m Height of Instrument (H.I) at E = 100.00 m Right Half Section , Station 1100				Elevation of the bench Mark = 98.80 Back Sight Reading = 4.11m Height of Instrument (H.I) at F = 102.91 m Right Half Section , Station 1100			
	وتد وسط الموقع Center (m)	الموقع التجريبي الأول للوتد الأيسر 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيسر 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيسر Final (m)	وتد وسط الموقع (وتد خط الوسط) Center (m)	الموقع التجريبي الأول للوتد الأيمن 1 (m)	الموقع التجريبي الثاني للوتد الأيمن 2 (m)	الموقع النهائي (الصحيح) للوتد الأيمن Final (m)
Rod Position موقع المسطرة أو القضيب	0	80 L	71 L	69 L	0	40 R	49 R	46R
H.I(منسوب خط النظر (سطح الميزان	?	?	?	?	?	?	?	?
المنسوب التصميمي لخط القاعدة Base Elevation	116.13	?	?	?	?	?	?	?
المسافة الرأسية بين خط القاعدة وخط نظر الجهاز Cut: GR= H.I.- Base Elevation Fill:GR = Base Elevation-H.I.	?	?	?	?	?	?	?	?
القراءة على المسطرة بجوار الوتد المعتبر Rod Reading	3.0	8.0	7.2	7.5	5.9	2.9	0.7	1.0
المسافة الرأسية بين خط القاعدة والوتد المعتبر Vertical Distance Cut→GR - Rod Reading Fill→GR+ Rod Reading	?	?	?	?	?	?	?	?
المسافة الأفقية المقابلة للمسافة الرأسية حسب ميل الجانب Side Slope وتساوي : Vertical Distance X Side Slope	?	?	?	?	?	?	?	?
Base Width/2 نصف عرض القاعدة	34	34	34	34	26.1	26.1	26.1	26.1
المسافة الأفقية بين وتد خط الوسط ووتد الميل الأيسر أو الأيمن Offset form the Center Stake to the Left Grade Stake or to the Right Grade Stake.	?	?	?	?	?	?		?
الرمز والقيم التي تؤشر على الأوتاد Mark Stakes			?	?		?		

- 15 -

الفصل الخامس عشر

شئون المقاييس والدقة في مشاريع الطرق

SCALES AND ACCURACY IN HIGHWAYS PROJECTS

15 – شؤون المقاييس والدقة في مشاريع الطرق :

15 - 1 مقدمة :

سبق أن أشرنا في الفصلين الثاني والثالث والسادس إلى المقاييس ومعايير الدقة لتقنيات وتطبيقات عديدة . في هذا الفصل سيجري بيان مقاييس المخططات والخرائط التي يقترح الاستئناس بها لمراحل التصميم المختلفة لمشاريع الطرق . كذلك ستورد بعض المقاييس والفترات الكنتورية المناسبة معها التي تلائم طبوغرافية واستعمالات الأرض المختلف مراحل الدراسة لهذه المشاريع . وفيما يتعلق بمعايير الدقة ، ستورد بعض الجداول التي توضح مقادير الأخطاء المسموحة في المناسيب والمواقع الأفقية للنقاط المستخرجة من الخرائط المستخدمة لأغراض تصميم الطرق بالإضافة إلى جداول أخرى توضح مراتب الدقة المطلوبة لمختلف مراحل تصميم الطرق وأخطاء الإغلاق المسموحة للمسافات والزوايا المناسبة مع هذه المراتب . وأخيراً ننبه القارئ إلى فائدة الرجوع إلى الجدول رقم (2-4) عند دراسة هذا الفصل حيث يبين هذا الجدول مقاييس الصور الجوية والمخططات والخرائط المستخرجة منها إلى جانب الفترة الكنتورية والدقة المتوقعة في المناسيب لكل من مراحل التصميم الثلاث لمشاريع الطرق .

15-2 مقاييس المخططات والخرائط :

تبين في الجدول (15-1) مقاييس المخططات والخرائط التي يجري استخدامها عادة في مراحل التصميم المختلفة لمشاريع الطرق. كذلك يبين الجدول (15-2) المقاييس والمجالات (أو التباعدات أو الفترات) الكنتورية المقابلة لها للاستئناس بها. أما الجدول رقم (15-3) فيبين النسبة المئوية للخطأ المسموح به في تقدير كميات الأعمال الترابية لكل مرحلة من المراحل الثلاث لإنشاء طريق ما [م3] [م52] .

الجدول رقم 15-1 مقاييس المخططات والخرائط

المستخدمة في المراحل المختلفة لتصميم طريق معين [م52]

المرحلة (Stage)	المقياس (Scale)
مرحلة الاستكشاف لتحليلات التخطيط وتعيين الخيارات المناسبة (Reconnaissance Survey of Area)	1 : 60 000 to 1 : 6 000
مرحلة الاستكشاف للمفاضلة بين طريق مقترح وآخر ضمن المنطقة التي سيمر منها الطريق (Reconnaissance Survey of Route Alternatives)	1 : 12 500 to 1 : 2500
المرحلة الأولية للتصميم (Preliminary Survey and Design)	1 : 6 000 to 1 : 600
مرحلة توقيع المشروع في الطبيعة وعمل المخططات الإنشائية (Location Survey and Construction Plans)	1 : 2 500 to 1 : 100

الجدول رقم 15 - 2 المقاييس والفترات الكنتورية المقابلة لها للاستئناس بها في دراسات الطرق [م52]

مرحلة التصميم الأولي (Preliminary Design)		مرحلة الاستكشاف والمفاضلة بين طريق مقترح وآخر ضمن المنطقة التي سيمر منها (Reconnaissance Survey of Route Alternatives i.c. Comparison of Feasible Routes)		استغلال أو نوع استعمال الأرض (Land Use)	طبيعة أو طبوغرافية الأرض (Character of Topography)
مقياس الخريطة (Map Scale)	الفترة الكونتورية (Contour interval)	مقياس الخريطة (Map Scale)	الفترة الكونتورية (Contour interval)		
1 : 6 000 to 1 : 2 500	10 m to 5m	1 : 12 500 to 1 : 6.000	25 m to 10 m	معدومة أو قليلة	جبلية (Moutainous or Ragged)
1 : 2 500 to 1 : 1250	5 m to 2.5m	1 : 7 500 to 1 : 5 000	15 m to 10 m	استخدامات ريفية	تلالية (Hilly or Rolling)
1 : 1 250 to 1 : 500	1 m to 0.25m	1 : 5 000 to 1 : 2 500	2.5 m to 1 m	كثيفة ، ريفية وحضرية	منبسطة (Flat or Nearly Level)

الجدول رقم 15 - 3 النسبة المئوية للخطأ المسموح به في تقدير كميات الأعمال الترابية لكل مرحلة من المراحل الثلاث لإنشاء طريق ما [م52]

النسبة المئوية للخطأ المسموح في تقدير المرحلة (Stage)	كميات الأعمال الترابية Required Accuracies of Road Earthwork Calculations
مرحلة اختيار موقع الشريط الأرضي الذي سيمر عبره الطريق (Corridor Location Stage)	30 % - 50 %
المرحلة الأولية للتصميم (Preliminary Design Stage)	10 % - 20 %
المرحلة النهائية للتصميم (Final Design Stage)	5 % - 10 %

15 – 3 دقة المناسيب والمواقع الأفقية ::

تبين في الجدول (15-4) حدود الأخطاء التي لا يجب تجاوزها عند حساب المناسيب والمواقع الأفقية (المسافات الأفقية والإحداثيات السينية والصادية) للنقاط الظاهرة على الخرائط والمخصصة لأغراض تصميم الطرق وذلك ضمن المجال (1/250) إلى (1/12500) .. على سبيل المثال ، إذا تم تعيين المناسيب والمواقع الأفقية لمائة نقطة ظاهرة على خريطة طبوغرافية مقياسها (1/5000) مخصصة لأغراض تصميم الطرق فإنه يجب أن لا يتجاوز الخطأ في المنسوب لـ (90) نقطة من هذه النقاط المائة المقدار التالي ::

$$(\frac{1}{3200})/(\frac{1}{5000}) = 1.56m$$

كما لا يجب أن يتجاوز الخطأ في المنسوب لأي نقطة من النقاط المائة المقدار التالي ::

$$(\frac{1}{1600})/(\frac{1}{5000}) = 3.13m$$

أما الخطأ المسموح في الموقع الأفقي لـ (90) نقطة فيجب أن لا يتجاوز المقدار ::

$$(\frac{1}{1600})/(\frac{1}{5000}) = 3.13m$$

كما أن الخطأ المسموح به في الموقع الأفقي لأي نقطة من النقاط المائة يجب أن لايتجاوز المقدار ::

$$(\frac{1}{800})/(\frac{1}{5000}) = 6.25m$$

15-4 خطأ الإغلاق الأعظم في المسافات والزوايا ::

الجدول (15-5) يبين قيم أخطاء الإغلاق الأعظمي المسموح بها في المسافات والزوايا الأفقية والمناسيب للمضلعات المستخدمة في أعمال مساحة الطرق .. وكما سبق أن أشرنا في الفصل السادس الخاص بمساحة المضلعات ، فإن الرتبة الأولى (First Order) من مراتب الدقة (Order of Accuracy) تنسجم مع متطلبات الدقة للمشاريع الهندسية الكبرى كالأنفاق وخطوط السكك الحديدية والسدود .. أما الرتبة الثانية من مراتب الدقة (Second- Order Accuracy) فتنسجم مع متطلبات الدقة في مشاريع الطرق السريعة والأنفاق القصيرة (Short Tunnels) والتقاطعات التبادلية (Interchanges) ومشاريع

جدول رقم 15 - 4 الأخطاء المسموحة في المناسيب والمواقع الأفقية

للنقاط المستخرجة من الخرائط المستخدمة لأغراض تصميم الطرق [م52]

	الخطأ المسموح لـ 90% من مجموع النقاط المحددة من الخريطة لا يتجاوز المقدار:m	الخطأ المسموح لجميع النقاط المحددة من الخريطة (أي 100%) لا يتجاوز المقدار: m
المناسيب أو الارتفاعات المستخلصة من الخطوط الكنتورية* (Elevations Determined from Contours)	(1/3200)/(Map Scale)	(1/1600)/ (Map Scale)
المواقع في المستوى الأفقي للنقاط والتفاصيل المختلفة (Horizontal Positions of Planimetric Features)	(1/1600)/(Map Scale)	(1/800)/ (Map Scale)

الجدول رقم 15 – 5خطأ الإغلاق الأعظم في المسافات (الأفقية والرأسية) وفي الزوايا الأفقية للمضلعات المستخدمة في أعمال مساحة الطرق ، حيث ترمز N إلى عدد الزوايا المشاركة في الحسابات كما ترمز K إلى مجموع أطوال خطوط النظر (Line of Sights) المشاركة في حساب المناسيب بين نقطة البداية (نقطة الإسناد Bench Mark) ونقطة النهاية ضمن دائرة المناسيب (Level Circuits) مقدرة بالكيلومترات [م2] .

خطأ الإغلاق في المسافات الأفقية (Closure Error in Horizontal Distances)	خطأ الإغلاق في المسافات الرأسية (Closure Error in Vertical Distances)	خطأ الإغلاق في المسافات الأفقية (Relative Closure Error in Horizontal Distances, or Relative Positioning Error)	مرتبة الدقة المطلوبة (Order of Accuracy)
$2\sqrt{N}$ seconds	$4\sqrt{k}$ mm	1 : 25 000	المرتبة الأولى (First) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (المناطق الحضرية)
$10\sqrt{N}$ seconds	$8\sqrt{k}$ mm	1 : 10 000	المرتبة الثانية (Second) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (لمناطق الأرياف)
$30\sqrt{N}$ seconds	$12\sqrt{k}$ mm	1 : 5 000	المرتبة الثالثة (Third) تلائم هذه المرتبة متطلبات الدقة لمرحلة التصميم (لمناطق الأرياف)
$60\sqrt{N}$seconds	$12\sqrt{k}$ mm	1 : 2 500	المرتبة الرابعة (Founrth) تلائم هذه الترتبة متطلبات الدقة لمرحلة الاستكشاف والتخطيط

التطوير الحضـــري والأحواض المائية الصغيرة وقياس حركات القشرة الأرضيــــة ســـواء كانت أفقية أم رأسية . ومن المشاريع التي تناسبها المرتبة الثالثة من الدقة ، أعمال المســـح الطبوغرافي لمواقع المشاريع الهندسية الصغيرة كالبناء على مساحات صغـــيرة مـــن الأرض وأعمال المساحة الخاصة بتعيين حدود الأراضي (Boundary Surveys) وغيرهـــــا مـــن المشاريع الهندسية الصغيرة .

15 - 5 الدقة الممكن تحقيقها من الخرائط المشتقة من الصور الجوية :

نميز هنا بين نوعين من الخرائط وفقاً لنوع نقـــــاط الضبـــط (Control Points) الظاهرة على الصور الجوية التي يستند إليها في صنع الخريطة . النوع الأول هو الناتج من استخدام نقاط ضبط قيست إحداثياتها من خلال وسائل المساحة الأرضية المبـــــاشرة (أي تثليث أرضي)،أما النوع الثاني فهو الناتج عن استخدام نقاط ضبط قيست إحداثياتها مـــن خلال وسائل المساحة الجوية (تثليث جوي). بالنسبة للنوع الأول ، يمكن تحقيق دقـــة في الإحداثيات الأفقية تصل إلى :

10 to 15 µ (1/ Negative Scale)

وبالنسبة للنوع الثاني فتصل الدقة إلى :

20 to 25 µ (1/ Negative Scale)

على سبيل المثال ، إذا كان مقياس الصورة (1/5000) وكانت هذه الصورة مزودة بنقاط ضبط قيست إحداثياتها بوسائل المساحة الأرضية المبـــــاشرة ، فــإن دقـــة الإحداثيـــات المستخرجة من الخريطة المشتقة من هذه الصورة تصل إلى (5-7.5 cm) . أمّا إذا كـــــانت هذه الصورة مزودة بنقاط ضبط قيست إحداثياتها بوسائل المساحة الجويــــة فــإن دقـــة الإحداثيات المستخرجة من الخريطة المشتقة من هذه الصورة تصل (10 -12.5 cm)،[م 5] .

- 16 -

الفصل السادس عشر

التقنيات المساحية الحديثة ودورها في مساحة المسارات

16- التقنيات المساحية الحديثة ودورها في مساحة المسارات

16-1- مقدمة:

كثيراً ما يرد ذكر الأعمال المساحية المختلفة في أغلب مراحل تنفيذ المشاريع الهندسية وخاصة الإنشائية منها. وأول ما يتبادر إلى ذهن القارئ الكريم هي الأعمال المساحية الأرضية التقليدية والتي كانت وما زالت فعّالة ومستخدمة في المشاريع الإنشائية المدنية الكبيرة والصغيرة. ولكن في الآونة الأخيرة ونظراً للثورة التقنية والمعلوماتية الجبارة التي تعرضت لها هندسة المساحة في خلال العقد الحالي فإن القارئ بدأ يطور نفسه وفقاً للتطور الحاصل وأصبح يبحث عن كل جديد في علوم المساحة يخدم المجالات التطبيقية في جوانب عديدة مثل الدقة والسرعة وقلة التكلفة.

واستجابة لطموحات المهندس العصري في تطوير ملكاته الهندسية في شتى المجالات فإن هذا الجزء من الكتاب خصص ليكون مدخلاً ميسراً لأحدث ثلاث تقنيات مساحية وعلومها والتي بدأت تفرض تواجدها وتغزو عالم الإنشاء والتطبيق والتنفيذ للمشاريع بشكل متسارع ومكثف. هذه الحقول الثلاثة هي مزيج من علوم مساحية عريقة في نظرياتها ولكنها حديثة في تقنياتها وهي:

1. أنظمة تحديد المواقع العالمية Global Positioning Systems (GPS)
2. المساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry
3. أنظمة المعلومات الجغرافية (Geographical Information System (GIS)

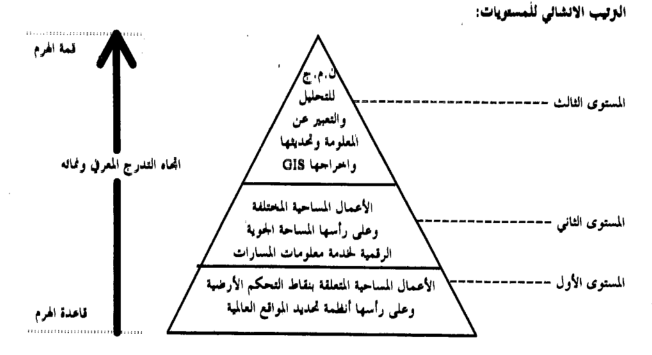
هذه العلوم الحديثة بتقنياتها المختلفة تميزت بإدخال الحاسب الآلي بشكل مكثف في أغلب الأعمال المساحية فاتحة بذلك باب المساحة الرقمية والجوية والأرضية مما أسهم في الرقي بالأعمال اليدوية كماً وكيفاً فأصبحت آلية وعلى جانب كبير من الجودة والفعالية الاقتصادية.

16-2- منظور تطبيق التقنيات المساحية الحديثة في مساحة المسارات:

إن السرد السابق لهذه العلوم بدءاً بأنظمة التوقيع (تحديد المواقع) الفضائية ثم المساحة الجوية ثم أنظمة المعلومات الجغرافية هو تسلسل منطقي مقصود يتناسب مع مراحل التطبيق لهذه التقنيات من حيث جمع ومعالجة المعلومات المساحية التي يمكن استخدامها في مساحة المسارات وغيرها من التطبيقات. فمعلومات المسارات من حيث الدراسة الاستطلاعية والتخطيطية وتصنيف وجمع المعلومات المختلفة عن الأغطية الأرضية والاستخدامات الأرضية ومعلومات التربة والجيولوجيا والطبوغرافيا وغيرها مما يجب إبرازه للمهندس المدني ومهندسي المسارات في صيغ مختلفة من خرائط وأرقام إحصائية وجداول وصور وتقارير، كل ذلك يعالج من خلال خطوات متدرجة تشكل في مجملها هرم معرفي (شكل 16-1) هام يبدأ بمعلومات نقاط التحكم الأرضية التي يبدع فيها نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). فهذا النظام يعتبر من أدق وأسرع التقنيات المناسبة لأغراض إنشاء نقاط التحكم اللازمة للمسارات- وخاصة نقاط الضبط الأفقية **Horizontal Control**. وبهذا فنظم تحديد المواقع تمثل القاعدة الأساسية التي تبنى عليها الطرق المختلفة الواردة في الشكل (16-1).

يلي هذه القاعدة الأساسية بنية وسطية في الهرم المعرفي. هذه المرحلة تتجلى فيها أعمال المسح الجوي الرقمي ذو الأغراض والمقاييس والدقة المتنوعة حسب نوعية التطبيق وأغراضه والأهداف المتوخاة من المشاريع والطرق المطلوبة والمحددة ضمن عقود المشاريع ذات العلاقة. فمثلاً التصوير الجوي قد يكون لأهداف استطلاعية غير تفصيلية وبهذا فدراسة مساحات كبيرة من سطح الأرض هي المطلب الأولي ويتحقق ذلك من خلال مسح جوي ذو مقياس رسم صغير -طيران على علوٍ مرتفع- وقد يكون التصوير ملون أو غير ملون وقد تستخدم صور الأقمار الصناعية إذا كانت مناسبة لهذا الغرض وخصوصاً بعد التحسن الكبير الذي طرأ على القوة التفريقية **Resolution** حيث بدأت تناوش المتر الواحد وسبقها العشرة أمتار وبعدها الخمسة أمتار وذلك في القمرين الفرنسي والهندي على التوالي.

الترتيب الانشائي للمستويات:



شكل (16-1) الهرم المعرفي المساحي لخدمة معومات المسارات

أما البنية الثالثة في الهرم المعرفي فهي قمة الهرم وتمثلها أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS). وخير تشبيه لهذه النظم هو النظر إليها كحاوية أو وعاء يتلقى المعلومات المختلفة المعالجة والمنقحة ثم ترتب في هذا الوعاء ترتيباً مناسباً يفي بأغراض المستخدم بشكل مرن وبرشاقة فائقة وليساعد المستخدم في صناعة بعض القرارات من خلال ما يحتويه من وسائل تحليلية متقدمة ليصل المستخدم إلى قرار تقل فيه احتمالات الأخطاء وتزيد فيه الكفاءة التخطيطية والتصميمية للمشاريع ذات العلاقة بالمعلومات المكانية الجغرافية.

وبهذا فيمكن إيجاز تداخل وتسلسل أنظمة التوقيع (تحديد المواقع) العالمي والمساحة الجوية الرقمية وأنظمة المعلومات الجغرافية في ثلاث عمليات متتالية على النحو التالي:-

1- نظم تحديد المواقع: حيث يتم إيجاد نقاط التحكم الأرضية بهذه النظم كمرحلة أولية تخدم معالجة وتوجيه الصور الجوية الرقمية حيث لا يمكن الاستفادة من هذه الصورة دون الحصول على نقاط تحكم أرضية دقيقة ومناسبة في توزيعها وهيكلتها على الصور الجوية لأغراض التوجيه والمعالجة لهذه الصور.

2- المساحة الجوية الرقمية: حيث يتم استخدام هذه الصور المعالجة في استخراج معلومات للمسارات المتنوعة وكذلك معلومات البعد الثالث (الطبوغرافية والكنتور DEM) ووضعها في هيئة مناسبة لأنظمة المعلومات الجغرافية وذلك من حيث النوعية المكانية (خط، نقطة، مضلع) وإنتاج الخرائط الرقمية والصور المصححة.

3- أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS): حيث بعد تهيئة المعلومات لهذه النظم يتم تزويد هذه النظم بقواعد معلومات متخصصة تخدم أغراض التحليل المكاني والتخطيط ومساندة اتخاذ القرارات المناسبة.

13-3- المساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry

المتتبع لعلوم المساحة الجوية من منظور تاريخي يجد أن للتقنية دور بارز في

تصنيف المساحة الجوية وذلك بناءً على ما تضيفه كل تقنية جديدة من قـدرة حاسـوبية ولمسة آلية أوتوماتيكية لهذا العلم. من هذا المنطلق يمكن تمييز ثلاثـة أنـواع مـن المسـاحة الجوية وهي:

1. المساحة الجوية اليدوية التقليدية والمشفرة Analogue and Numerical Encoders encoder Photogrammetry.

2. المساحة الجوية التحليلية Analytical Photogrammetry.

3. المساحة الجوية الرقمية Digital Photogrammetry.

تنفرد المرحلـة الثالثـة (النـوع الثـالث وهـو مرحلـة) -المسـاحة الجويـة الرقميـة- بكونها الوحيدة التي تتعامل مع الصور الجوية في هيئة نسخ أو صور رقمية Soft Copy بينما المرحلتين السـابقتين تتعاملان مع الصور الجوية بأشكالها الفيزيائيـة (الورقيـة مثـلاً) غير الرقمية.

المساحة الجوية الرقمية كانت نتاج نظريـات وعلـوم مسـاحية بـدأ الرقمـي منـها حـوالي عـام 1960م بشكـل بدائي عندمـا تم تـأصيل المقارنـة الضوئيـة الاوتوماتيكيـة لتحسس مواقع الانحـراف parallax ومـن ثـم إزالتـه. أيضـاً اشتملـت تقنيـات اختراع الرسم التحليلي على نسبة جيدة من الاوتوماتيكية عندمـا اخترعـه هلافـا Helava عـام 1957م. ثم أتت حقب الستينات والسبعينات بتدخل أكثر للحاسب الآلي في عمليـات معالجة الصور الجويـة حيـث أمكـن تحريـك حـاملات الصـور Image Stages آليـاً في الراسم التحليلي وكذلك القدرة التوافقية Correlation لتحديد بعض المواقع في الصـور اتوماتيكياً كتحديد بعض نقاط الإسناد الجانبية Fiducial Mark وكذلك مراكز الصور Principal Points. ثم توالى بعد ذلك كثير من الإنجازات الحاسوبية والتقنية وصاحبها تقدماً في آلات التصوير الجوي وكذلك تقدمـاً في علـم الاسـتشعار مـن بعـد والأقمـار الصناعية والتي صاحبها تقدماً تقنياً مذهلاً في مجالات أجهزة التحسس الرقمية Digital Sensors. هذه الآلات الـتي اسـتغنت عـن أفـلام التصويـر وبـدأت في التعـامل الرقمـي

المباشر مع الصورة فتحت باباً حديثاً وأفقاً غير مسبوق في التحام قوتي الحاسب الآلي وعلوم المساحة الفضائية والجوية.

توالت بعد ذلك الإنتاجات الرقمية المتوسطة والعالية الدقة كما نرى في القمر الصناعي الفرنسي Spot ذي الكفاءة التفريقية العالية (10م) وبعده القمر الهندي (5م) ووصل بعض أنواع الإنتاجات نحو (1م) في دقته التفريقية وبدأت هذه الأقمار تغزو فضائنا لتزودنا بصور رقمية عالية الدقة، فائقة الجودة، كبيرة التغطية، ومناسبة التكلفة.

المسح الجوي الرقمي في المقابل اعتمد على تحويل الصور الجوية الفيزيائية (أفلاماً أو أوراقاً) إلى نسخ ضوئية Soft Copy يمكن استخدامها في بيئات الحاسب الآلي وذلك عن طريق الماسحات الضوئية Scanners ذات الجودة الهندسية العالية. أيضاً يوجد حالياً الآن تصوير (كمرات) رقمية يمكن أن تنتج صوراً رقمية مباشرة دون استخدام الأفلام مستفيدة في ذلك من مبدأ التصوير الرقمي المعروف في حقول الاستشعار من بعد. هذه الكمرات لم تصل بعد في جودتها إلى ما وصلت إليه الأفلام ولكنها تسير بخطى حثيثة نحو الأفضل حيث وصلت دقة بعض الكمرات اليدوية الأرضية نحو (3 ميكروميتر).

كما ذكرنا المساحة الجوية الرقمية تتميز بتعاملها المباشر مع الصور الرقمية. والصور الرقمية عبارة عن مصفوفة ثنائية رقمية 2-D matrix تتكون عناصرها من أرقام في هيئة عدد من الأعمدة (j) والصفوف (i) – f (i, j) . كل عنصر في هذه المصفوفة يدعى وحدة الصورة الصغرى (Pixel) ويعبّر عن هذه المصفوفة رياضياً بالشكل المبسط التالي:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots\dots\dots & f(1,N) \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots\dots\dots & f(M,N) \end{bmatrix}$$

وبهذا فإن الأرقام المحتواه في هذه المصفوفة هي أرقام تمثل شدة التـدرج الرمـادي والتي تبدأ بقيمة قدرها صفر في حالـة الظواهـر الجغرافيـة السـوداء وتنتـهي بقيمـة عليـا قدرها 255 في حالة الظواهر الجغرافية البيضاء وينحصـر بـين هـاتين القيمتـين (صفـر و 255) بقية القيم الضوئية الواقعة بين الأسود والأبيض.

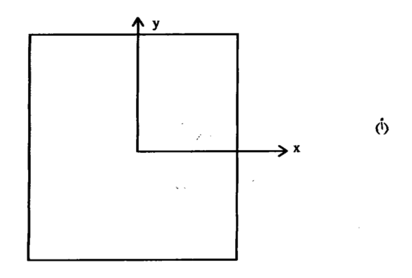
يختلف مركز محاور الصـور الجويـة الرقميـة عـن مركـز محـاور الصـور الفيزيائيـة المعتادة في المسـاحة الجويـة التقليديـة. ففـي التقليديـة يكـون المركـز في وسـط الصـورة الفيزيائية بينما في حالة الصور الجوية الرقميـة يكـون غالبـاً المركـز للمحـاور في الركـن العلوي الأيسر، شكل (16-2).

16-4- معالجة الصور الرقمية:

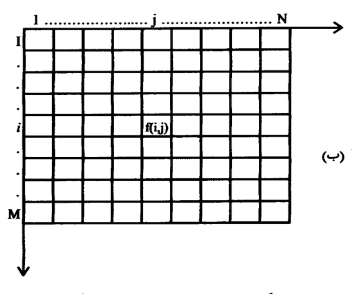
عندما تصبح الصور جاهزة في شكلها الرقمي فإن هناك عدد كبير من المعالجات المختلفة التي تجرى على هذه الصور. هذه العمليات متعددة ومتباينـة مـن حيـث التقـدم ودرجة التعقيد وذلك وفقاً لما يمليه التطبيق المتوقع لهذه الصور.وقد تبدأ المعالجة بعمليات بدائية ميسرة مثل إجراء التحسينات Image Enhancement المناسبة التي تخدم أغـراض التفسير بالعين المجردة وقـد تكـون عمليـات أكـثر تقدمـاً تخـدم غايـات التصنيـف الآلي Image Classification لمحتويات هذه الصور كما قد تكون عمليـات غايـةً في التقـدم حيث يراد منها متطلبات إنتاج خرائط طبوغرافية وهندسية دقيقة حيث تخضع لعمليات التوجيـه الداخلـي Interior Orientation ومـا يليـها مـن عمليـات للتوجيـه النسـبي Relative Orientation ثـم التوجيـه المطلـق Absolute Orientation والـتي تكـون عمليات أساسية لعدد آخر من المعالجات المتقدمة.

مساحة المسارات قد تكون أحـد الأهـداف الرئيسـية التطبيقيـة الـتي تُستخدم الصور الجوية الرقميـة لخدمتها. فـلو افترضنا أن المواصفات الأساسية للصور الجوية الرقمية لأعمال المسح الجوي تحققت (مثل التداخل الأمامي(60٪) والتداخل الجـانبي (30٪)، والتعامـد،...الخ) فإنـه يمكن وبشكـل إجمالي إيجاز الخطوات الرئيسية التي

(أ)



(ب)



شكل (2-16) محاور الصور التقليدية (أ) والرقمية (ب)

يتم تطبيقها على هذه الصور الرقمية بهدف استخراج معلومات تخدم أغـراض مسـاحة المسـارات في الآتي:

1) استخدام البرامج المتخصصة في معالجة الصور الرقمية وتهيئة هذه الصـور لتكـون في شكلها الرقمي الصحيح الصالح للاستخدام في بيئات الحاسبات الآلية.

2) إجراء عمليات التحسينات الأولية المناسبة على هذه الصور لتكون مقبولة للعين والمعالجات الأخرى **Image Enhancement** وذلك من خلال اختيـار التباينـات الضوئية المناسبة **Histograms**.

3) رصد علامات الإسناد الجانبية **Fiducial Marks** في كل صورة لأغراض التوجيه الداخلي وذلك باستخدام الفأرة أو ما يحـل محلها للتصويـب على مراكـز هـذه العلامات وتسجيل مواقعها في ملف خاص.

4) إعداد الملف الرقمي الخاص بتقريـر معـايرة الكمـرة (**Camera Report**) وذلـك فيمـا يوازي أو يقـابل علامـات الإسـناد المرصـودة في خطـوة (3) وغيرهـا مـن المعلومات (مثل البعد البؤري ونقطة المركز) وذلك سـيخدم العمليـات الحاسبية الخاصة بنقل المحاور **Coordinate Transformation** وكذلـك عمليـات التوجيـه الداخلي المختلفة.

5) بنـاءً على معطيـات الخطوات (3) و(4) تجـرى عمليـات التوجيـه الداخلـي والحصول على المعلومات المناسبة لها لاستخدامها في الخطوات اللاحقة.

6) لأغراض التوجيه النسبي والمطلق يتم التصويب بالفأرة أو مـا يقـوم مقامـها علـى عددٍ كافٍ من نقاط التحكم **Control Points** الواضحة على هذه الصور والـتي لها قيم حقيقية معلومة على سطح الأرض.

7) إعداد ملف نقاط التحكم الأرضية الحقيقية المقابلة لصورها المرصـودة في خطـوة (6).

8) إجراء عمليات التوجيه التي تفضي في محصلتها إلى تحويل الصور إلى صور مرتبطة بمحاور الكرة الأرضية (توجيه مطلق) وتعبر عن واقع معلومات المساحة على سطح الكرة الأرضية. ويمكن أيضاً إجراء عمليات التكثيف لنقاط التحكم الأرضية عن طريق عمليات التثليث الجوي وذلك للحصول على عدد أكبر من نقاط التحكم الأرضية الإضافية المحسوبة بناءً على معلومات نقاط التحكم الأرضية الأولية.

9) إنتاج النموذج الأرضي الرقمي ثلاثي الأبعاد **Digital Elevation Model (DEM)** لكامل منطقة الدراسة وذلك عن طريق القراءات المختلفة لعدد كاف ومنتظم من النقاط من خلال الرؤية التجسيمية للصور المزدوجة التي تعطينا الإحساس أثناء الرصد والمتابعة بالبعد الثالث لشكل الأرض بظواهرها الجغرافية المختلفة (الأودية- الجبال- السهول...)

10) إجراء عمليات التصحيح للصور **Image Rectification** وذلك باستخدام معطيات الخطوة (9) -DEM- والتي تنتج لنا صوراً جوية متعامدة مصححة **Orthophotos**. وخالية من الأخطاء الأساسية وأيضاً موجهة توجيهاً مطلقاً للشمال مما يجعل هذه الصور المصححة تقوم مقام الخرائط الحقيقية.

11) استخدام جميع معلومات مساحة المسارات وذلك عن طريق الاسترقام لهذه المعلومات باستخدام الفأرة من الصور المعدة في خطوة (10). هذا الاسترقام قد يكون متقدماً ويؤخذ في الاعتبار إعداد معلوماته في هيئة تناسب أنظمة المعلومات الجغرافية فيما بعد وذلك مثل الترميز (التشفير) المبدئي للظواهر وإعطائها ما يناسبها من صيغ (مثل نقاط، خطوط، مساحات) طوبولوجية وهندسية. ومن هذه الخطوة يمكن استخراج وعمل التالي:

أ. إنتاج خرائط شبكية نقطية **Raster Maps** وكل ما يلزم هو وضع لمسات

إخراجية على الصور المصححة Orthophoto Maps مثل إضافة المسميات وشبكات المحاور ومقياس الرسم وغير ذلك مما يلزم الخرائط المصورة سهلة الفهم والتفسير.

ب. إنتاج خرائط خطية تقليدية Vector Maps.

جـ- إنتاج مزيج من الخرائط الرقمية النقطية الشبكية وكذلك الخطية وإنتاجهما معاً لتعطي قوة اتصال وتأثير على المتلقي مما يثري مفاهيم الخارطة ويزيد من القدرة التفسيرية لها حتى من غير المختصين في الخرائط.

تتميز هذه المعلومات المعالجة الجاهزة من الصور الرقمية بعدد من الميزات أهمها سهولة تبادل هذه المعلومات بين الحاسبات الآلية ونقلها لمواقع مختلفة إلكترونياً كذلك تمتاز بيسر وسهولة تحديثها مستقبلاً بأقل تكلفة ممكنة حيث يمكن استخدام الصور الجوية الحديثة المعالجة كخلفية للخرائط الرقمية القديمة ومن ثم تحديد المناطق التي تغيرت وتحتاج إلى تحديث ومن ثم تحديثها إلكترونياً دون المساس بباقي أجزاء الخارطة التي لم يحصل فيها أي تغيير. وبالتالي فإن أسلوب تحديد ومعرفة ورصد مواقع التحديث في الخرائط الإلكترونية يزيد من كفاءة التحديث كما أنه يقلل التكلفة ويختصر المدة الزمنية اللازمة لإنتاج العمل وتحديث الخرائط بالطرق التقليدية المعتادة. كذلك تمتاز أعمال المسح الجوي الرقمي للمسارات وغيرها بالقدرة الفائقة على إجراء أعمال تخطيطية متقدمة على الصور ووضع عدد من البدائل لها وتكرار المحاولات وإجراء التحاليل والدراسات للبدائل لوضع المسارات في مواقع مختلفة وتقويم هذه البدائل هندسياً كما بيئياً واجتماعياً واقتصادياً.

16-5- أنظمة تحديد المواقع العالمية Global Positioning Systems (GPS) (ن.ت.م.ع):

مقدمة:

تقدمت التقنيات الخاصة بعلوم هندسة المساحة تقدماً مذهلاً خلال العقد المنصرم من هذا القرن وتبع هذا التقدم تغيرات هائلة في مفهوم علوم المساحة وطرق ووسائل الرصد وفي بعض النظريات المهمة مما حدى بكثير من مراكز وجامعات العالم المتخصصة في هذه العلوم إلى السعي نحو تغيير مسمى "مساحة" إلى بعض الأسماء الحديثة الأكثر واقعية وشمولاً لما يجري على أرض الواقع في هذا الخصوص. فعلم المساحة الحديث يكتنف علوم الفلك وعلوم الاستشعار من بعد وعلوم الأقمار الصناعية وعلوم المسح بالليزر وعلوم الجاذبية وعلوم الإحصاء والرياضيات وعلوم المسح الجوي التحليلي والرقمي وعلوم أنظمة المعلومات الجغرافية والكارتوقرافية وعلوم الجيوديسيا وغير ذلك كثير مما جعل المسمى الحالي "مساحة" مسمىً ضيقاً في أفقه لا يعبر بصدق ودقة عن مكتنفات هذا العلم وواقعيته وفعالياته.

ن.ت.م.ع. يعتبر أحد أعظم الثورات المساحية الجبارة التي استحدثت في مجال علوم هندسة المساحة حيث يوجد حالياً 24 قمراً صناعياً في حالة تشغيلية على مدار الأربع وعشرون ساعة وفي شتى الأحوال والظروف الجوية -ليلاً ونهاراً- ومغطية لكل بقاع الكرة الأرضية. تدور هذه الأقمار في مسارات شبه دائرية وتسكن الفضاء على بعد 20200كم فوق كوكب الأرض.

لهذه الأقمار مواصفاتها المتميزة والتي تميزها عن غيرها من الأقمار الأخرى -مثل أقمار الاتصالات- التي بدأت تغزو فضاء الأرض. يزن قمر ن.ت.م.ع نحو 400كجم ويعتمد في طاقته التشغيلية على صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية كما أن هذه الأقمار تحتوي على ثلاث بطاريات احتياطية تسمى بطاريات كادمُيم النيكل Nickle Cadmium. هذه الأقمار تحمل أجهزة متخصصة لإرسال إشارات Signals محددة

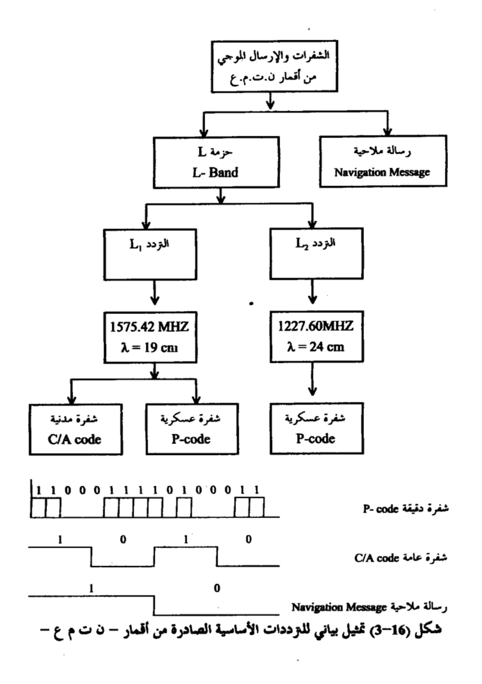
للمستقبلات (المواثيات) الأرضية. وعندما نقول القمر الصناعي فنحن نقصد هذه الأجهزة المتخصصة. كل قمر صناعي يصدر نوعين أساسيين من الترددات frequency ترسل خلالهما المعلومات للأرض. التردد الأول قدره 1575.42 ميجا هيرتز (1575.42 MHz) ويدعى L1 وطوله الموجي يقدر بحوالي 19سم. أما التردد الثاني فقدره 1227.60 ميجا هيرتز (1227.60MHz) ويدعى L2 وله طول موجي يقدر بنحو 24سم.

هذه الترددات تنمط أو تشفر في مجملها إلى نوعين أساسيين من الشفرات وإلى رسالة ملاحية. الشفرة الأولى تخدم أغراض التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service (SPS). وهذه تدعى بالنمط أو الشفرة العامة Coarse Acquisition (C/A). وهذه الشفرة (C/A) صممت للأغراض المدنية. أما النوع الثاني أو الشفرة الثانية فهي تخدم التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service (PPS). وهذه الشفرة تدعى بالنمط أو الشفرة الدقيقة Precise Code (P-Code). وهي دائماً تنمط على الطول الموجي الثاني L2 وصممت لخدمة الأغراض العسكرية.

جميع موجات أقمار ن.ت.م.ع. هي موجات أو ترددات مصدرها التردد الأساسي 10.23م.هـ (10.23 MHz) الذي تستحدثه الساعة الذرية المحمولة على الأقمار الصناعية Onboard Atomic Clocks. فمثلاً التردد L1 يشتق من التردد الأساسي وذلك بضرب التردد الأساسي في 145:

1575.42 MH3 = 145 × 10.23

ومثل ذلك يمكن القول عن L2 بأنه حصيلة ضرب 120 في التردد الأساسي 10.23. وهناك أمور كثيرة دقيقة في هذا المجال لا يتسع هذا الكتاب لذكرها. شكل (3–16) يبين تمثيلاً ميسراً للترددات الأساسية الصادرة من أقمار ن.ت.م.ع. ومجالاتها المدنية أو العسكرية كذلك يبين الشكل (3–16) أنواع هذه الترددات كشفرات ورسائل ملاحية ثنائية المفهوم وشكل كل شفرة من حيث التنميط.



شكل (16-3) تمثيل بياني للترددات الأساسية الصادرة من أقمار – ن ت م ع –

16-6- مفهوم الرصد وتحديد المواقع للمسارات:

إن مساحة المسارات يلزمها عدد كافي من نقاط التحكم (الضبط) الأفقية والرأسية Horizontal and Vertical ground Control Points. هذه النقاط يجب استحداثها وإنشائها إذا كان لا يوجد في منطقة الدراسة أو قريب منها نقاط تحكم سابقة الإنشاء. كما يجب ربطها بنقاط التحكم القريبة إن كان يوجد في منطقة الدراسة نقاط سبق إنشائها. نظام تحديد المواقع العالمي يعتبر من أفضل وأدق وأسرع الأجهزة المساحية الحديثة التي يمكن استخدامها لأغراض رصد وإيجاد محاور نقاط الضبط الأفقية حيث تصل دقته النسبية إلى جزء من المليون (1P.P.M) ويحقق عملياً أجزاء من السنتمترات في الدقة.

ومفهوم الرصد يمكن إبرازه من خلال معرفة المجاهيل المطلوب إيجادها. فعندما نريد تحديد موقع نقطة ما (Pi) على سطح الكرة الأرضية فإن هذا يعني أننا نريد معرفة ثلاث معلومات أساسية عن هذه النقطة وهي المحور الأفقي بمركبتيه السينية (س أو x) والصادية (ص أو y) وأخيراً المحور الرأسي z أي(x,y,z) Pi . كل معلومة من هذه المعلومات ينظر لها على أنها معلومة مجهولة وتحتاج إلى تكوين معادلة رياضية للتعبير عنها علمياً. وبهذا فإن ثلاثة مجاهيل لدينا (x,y,z) تحتاج إلى تكوين ثلاث معادلات رياضية وكل معادلة رياضية يمكن تحقيقها من خلال رؤية جهاز الاستقبال (الهوائي) لقمر صناعي ومن ثم فثلاثة أقمار صناعية مرئية للهوائي تضمن لنا إيجاد ثلاث معادلات رياضية تفي بإيجاد حلٍ وحيد Unique solution لهذه المعلومات المجهولة .(x,y,z)

ولكن التطبيق الواقع لعمليات الرصد ومن وجهة نظر مساحية ثاقبة وبسبب تدخل الأقمار الصناعية في عمليات الرصد وساعاتها الذرية وأخطائها المتوقعة فإنها جرت العادة على إضافة مجهول رابع للمجاهيل الثلاثة السابقة. هذا المجهول الجديد يسمى خطأ الساعة ويرمز له بـ (دلتا δ) لتصبح المجاهيل الثالثة (x,y,z, δ). وبنفس

المفهوم السابق فإن حل هذه المجاهيل الأربعة حلاً وحيداً يتطلب تكوين أربع معادلات رياضية لا تتأتى إلا برؤية الهوائي لأربعة أقمار صناعية على الأقل في آن واحد. ومن ثم فإن الحد الأدنى المطلوب لإيجاد نقطة مجهولة على سطح الأرض هو رؤية 4 أقمار صناعية في آن واحد. وحيث أن للحل الوحيد مخاطر كثيرة فإنه يفضل دائماً رصد أكثر من أربعة أقمار صناعية (8–12 قمراً) حتى يكون هناك حل عن طريق حسابات الضبط الصغرى **Least-Square Adjustment** التي توفر لنا الوسيلة المناسبة لمعرفة دقة أعمال الرصد للمسارات والطرق ونقاطها ومعلوماتها المتنوعة.

تكوين المعادلات الرياضية اللازمة لحل هذه المجاهيل لها طرق عدة ومن أبسطها الاعتماد على مبدأ معرفة المسافة بين الهوائي وبين القمر الصناعي ضمن عدد من التقنيات الإلكترونية والساعات الذرية المسئولة عن الإشارات المرسلة والمستقبلة بين القمر وبين الهوائي. هذه المسافة المحسوبة بناء على السرعة للإشارة في الفراغ وقبل تصحيحها تسمى المسافات المبدئية **Pseudoranges(di)**. الخطأ المحتمل في كل مسافة بين الهوائي وبين القمر الصناعي يرمز لها بـ **Δd** وفقاً لهذه الرموز وبالنظر إلى الشكل (4–16) يمكن تشكيل المعادلات الأربع التالية لتحديد موقع الهوائي **P** من خلال رؤية أربعة أقمار صناعية:

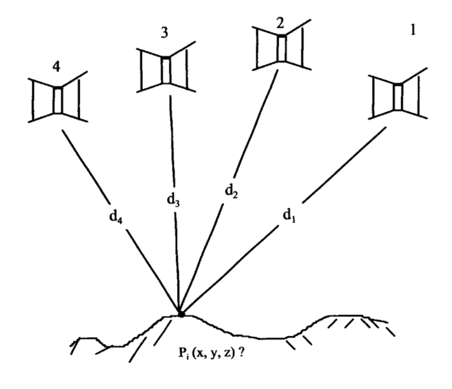
$$d_1 + \Delta d = [\ (x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 + (z_1 - z_i)^2\ ]^{1/2}$$

$$d_2 + \Delta d = [\ (x_2 - x_i)^2 + (y_2 - y_i)^2 + (z_2 - z_i)^2\ ]^{1/2}$$

$$d_3 + \Delta d = [\ (x_3 - x_i)^2 + (y_3 - y_i)^2 + (z_3 - z_i)^2\ ]^{1/2}$$

$$d_4 + \Delta d = [\ (x_4 - x_i)^2 + (y_4 - y_i)^2 + (z_4 - z_i)^2\ ]^{1/2}$$

وبالتالي فيمكن إيجاد حل وحيد لكل من **Δd,xi,yi,zi** حيث أن كل من المحاور التالية .... للأقمار الصناعية معلومة ومعطاة ضمن ما يصل الهوائي من معلومات أثناء الرصد.



شكل (16 – 4)

تحديد نقطة الهوائي بناءاً على رؤية أربعة أقمار صناعية في آن واحد

16-7- مبادئ رصد معلومات المدارات باستخدام ن.ت.م.ع:

تحاط الكرة الأرضية حالياً بستة مدارات خاصة بأقمار ن.ت.م.ع. هذه المدارات تمثل بمستوى يميل على مستوى خط الاستواء بـ (55°) كل مدار صمم بشكل شبه دائري ويتسع كل مدار لعدد من الأقمار الصناعية. بكل مدار على الأقل أربعة أقمار صناعية في حالة تشغيلية حالياً. هذه الأقمار تتوزع في مداراتها بطريقة علمية دقيقة تضمن الرؤية الدائمة لعدد كافٍ من الأقمار الصناعية من أي نقطة على سطح الكرة الأرضية.

الهوائيات على سطح الكرة الأرضية يمكن أن ترى عدداً كبيراً من الأقمار وهذا لا يعني بالضرورة أن كل هذه الأقمار المرئية مفيدة في عمليات الرصد. فللرؤية شروطها لكي تكون مفيدة ومن ثم فإن هناك رؤية ضعيفة وهناك رؤية ممتازة من وجهة نظر الرصد المساحي. ومن العوامل المهمة في تحديد مدى صلاحية الأقمار المرئية للرصد هو توزيعها الهيكلي المنتظم من وجهة نظر النقطة المراد رصدها. ولذلك يستحدث دائماً زاوية للرصد تسمى زاوية القناع الرأسية. فلو اخترت الزاوية (15°) كزاوية للقناع فإن أي قمر صناعي يراه الهوائي ويقع في أي نطاق تحت الزاوية الرأسية (15°) يحجب عن الهوائي ويعتبر غير مرئي ولا تؤخذ أرصاده لأنها ستكون أرصاداً قليلة الجودة.

وبالتالي فإن من أساسيات الرصد باستخدام ن.ت.م.ع هو التخطيط المسبق لمعرفة مواقع الأقمار الصناعية وعددها وكيفية توزيعها ومن ثم اختيار أنسب الأوقات للرصد. أيضاً كما سبق الحديث يجب توفر الحد الأدنى من الأقمار الصناعية (على الأقل 4 أقمار صناعية) حتى يتم تحديد موقع الهوائي ويفضل دائماً أن يكون العدد المرئي من الأقمار الصناعية أكثر من الحد الأدنى.

يلي هذه الاحتياطات المبدئية إعداد المستقبل (الهوائي) Receiver الإعداد المناسب حيث ينصب ويوزن بالطرق المساحية التقليدية المعروفة وباستخدام الميزانية

(قاعات السوائل) المعتادة وباستخدام أشعة الليزر لعمل التسامت (حلت حديثاً محل الشاقول) وذلك بما يضمن ضبط أفقية ورأسية وتوجيه للمستقبل وتسامته مع النقطة المراد رصدها. بعد ذلك يلزم إدخال المعلومات الأولية اللازمة لبدء الرصد السليم وذلك مثل ارتفاع الهوائي وارتفاع الحامل ومحاور نقطة الضبط الجيوديسية البدائية والوقت والتاريخ وغير ذلك مما يتطلبه الرصد الصحيح.

يلي هذه الاستعدادات الأولية تحديد نوعية الرصد GPS- mode. هذه النوعية يفترض أنه تم التخطيط لها مسبقاً وإقرارها بناءً على أهداف المشروع (ملحوظة: عندما نتحدث عن ن.ت.م.ع في هذا الكتاب فنحن نتحدث عن النوع الجيوديسي المتقدم منها مثل Differential GPS ولا نتحدث عن الأجهزة الملاحية البسيطة). وبعد إقرار نوعية الرصد فإن جميع أعمال الرصد تصبح روتينية وتكراراً لما يحصل في أول نقطة يتم رصدها.

لإيضاح أنواع الرصد العملية يمكن سرد أهم أنواعها بشكل مختصر مع شرح قليل يبين أسس الطرق العملية لكل نوع. تطبيقياً يمكن تمييز نوعين أساسيين من الرصد باستخدام ن.ت.م.ع شكل (16-5).

1- الرصد الثابت Static Observation.

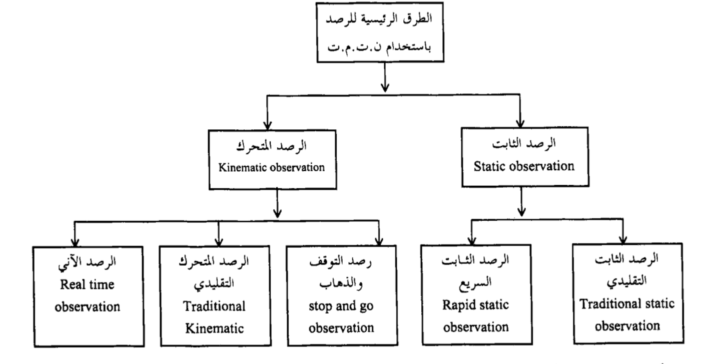
2- الرصد المتحرك Kinematic Observation

لكل من هذين النوعين أقسامه وطرقه وميزاته ولكن بصفة إجمالية الرصد الثابت يستخدم في الأرصاد الدقيقة. ونورد الآن أقسام كل نوع وطريقته:

الرصد الثابت Static Observation:

الرصد الثابت إجمالاً يعتبر دقيقاً ولكن دقته تتفاوت حسب نوعياته ومتطلبات المشاريع. ينقسم الرصد الثابت إلى نوعين من الأرصاد:

أ - الرصد الثابت التقليدي ويدعى بالصيغة الثابتة Static- Mode. وطريقته كالتالي:



شكل (5-15) رسم هيكلي يبين طرق الرصد الحالية المعروفة باستخدام نظم تحديد المواقع العالمية

يتم تثبيت أحد المستقبلات (الهوائيات) على نقطة تحكم موثوقة ومعلومة الإحداثيات x,y,z بينما يثبت الهوائي (أو الهوائيات) الأخرى على النقط الجديدة التي نرغب في تحديد إحداثياتها. يبدأ الرصد بهذه الأجهزة بعد إعدادها الإعداد المناسب الذي سبق شرحه ويستمر الرصد لمدة تصل إلى 60 دقيقة وقد تزيد. هذه المدة يحكمها عوامل كثيرة منها التوزيع الهيكلي المناسب للأقمار الصناعية أثناء الرصد ونوع الهوائي ومقدار المسافة بين جهاز الاستقبال المتواجد على نقطة التحكم وبين بقية النقاط المرصودة. بعد انقضاء المدة المحددة للرصد يمكن نقل الأجهزة إلى نقاط جديدة وإعادة الرصد لمدة مماثلة لتلك النقاط بنفس الطريقة التي عملت مع النقاط السابقة. مدة الرصد أيضاً تتأثر بالأحوال الجوية. هذه الطريقة هي أدق أنواع الرصد وتستخدم لأغراض تطبيقية تتطلب معرفة المواقع الجغرافية بدقة عالية جداً.

ب) الرصد الثابت السريع ويدعى بالصيغة الثابتة السريعة Rapid Static Mode ويمكن تلخيص طريقته العملية كالتالي:

تستخدم هذه الطريقة في رصد نقاط متقاربة (نحو 15كم) باستخدام الهوائيات ثنائية التردد Dualfrequency. حيث يتم نصب أحد المستقبلات على نقطة تحكم معلومة الإحداثيات ويسمى هذا الهوائي باسم الهوائي القاعدي أو الثابت Stationary Receiver. أما المستقبلات الأخرى فإنها تنصب على النقاط المجهولة وتتحرك من نقطة مجهولة إلى أخرى بشكل أسرع مما ذكر في النوع السابق. هذه الهوائيات المتحركة تسمى Rover ومدة الرصد لها على النقاط المجهولة تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق فقط. أيضاً من ميزاتها أنه أثناء الانتقال من نقطة مجهولة إلى أخرى يمكن إغلاق الهوائيات لتوفير الطاقة وتحقق هذه الطريقة الدقة لتصل إلى عدد من المليمترات.

الرصد المتحرك Kinematic Observation:

الرصد المتحرك أو الديناميكي له تطبيقات عديدة كما أنه يناسب في الأعمال

التي تتطلب السرعة. وهو بدوره ينقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية نوردها ونجمل طرق تطبيقها فيما يلي:

أ- رصد التوقف والذهاب ويسمى صيغة التوقف والذهاب Stop & Go Mode ويمكن اختصار طريقته العملية كالتالي.

يتم مبدئياً الإعداد لهوائيات هذه الطريقة بنفس الطريقة التي تمت في الرصد الثابت السريع حيث يوضع أحد الهوائيات على نقطة معلومة الإحداثيات بينما الهوائي المتحرك يتم إعداده على نقطة مجهولة وانتظاره لمدة تصل نحو 5 إلى 10 دقائق حتى يتم إعداده للرصد Initialization. بعد ذلك يمكن تحريك الهوائي المتحرك (الموجود على النقطة المجهولة) إلى أي نقطة مجهولة أخرى (يمكن حمله يدوياً أو في سيارة أو بأي وسيلة أخرى) ثم الرصد لتلك النقطة من خلال التوقف عليها بهذا الهوائي لمدة 10 ثوان فقط وتستمر العملية بين تنقل وذهاب بين النقاط المجهولة والتوقف عند كل واحدة منها لمدة 10 ثوان فقط. ولكن أثناء التنقل يشترط شرطاً أساسياً أن لا تغلق الهوائيات وأن لا ينقطع اتصالها بالأقمار الصناعية. وعندما يحصل الانقطاع فإنه يجب إعادة الإعداد Initialization لمدة تتراوح بين 5–10 دقائق على النقطة الجديدة. ثم يبدأ بعد ذلك التحرك السريع والتوقف السريع. أثناء الانتقال لا يكون هناك رصد ولكن عند التوقف على النقطة لمدة 10 ثوان فإن المشغل Operator يعطي أمره للهوائي بالرصد.

ب- الرصد المتحرك التقليدي Traditional Kinematic ويمكن أيضاً تلخيص هذه الطريقة كالتالي:

مفهوم هذه الطريقة ليشبه مفهوم طريقة رصد التوقف والذهاب في جميع خصائصها وطرقها الفرق الوحيد هنا هو أن تدخل المشغل Operator في تحديد بداية الرصد تلغى في هذه الطريقة وتوضع بطريقة أوتوماتيكية ومن ثم فإنه يحدد فترة زمنية

Interval يتم خلالها الرصد كأن يعد الجهاز للرصد بعد كل ثانيتين. أيضاً يلزم هذه الطريقة عدم انقطاع الاستقبال وهي طريقة مناسبة لرسم الطرق ورسم ممرات السفن أثناء الرصد الصوتي وكذلك تطبيقاتها في مجالات المسح الجوي لتحديد مواقع آلة التصوير **Cameras** أثناء أخذ اللقطة الجوية.

ج- الرصد الآني المتحرك **Real-Time Kinematic**. هذه أحد أسرع طرق الرصد ويمكن شرح مختصرها كالتالي:

أحد أهم متطلبات هذه الطريقة هو ضرورة الحصول على ترخيص من الدولة المعنية لضمان إيجاد اتصال مناسب بين الهوائيات وطريقة الرصد في هذه الحالة تسير وفقاً للمفاهيم المذكورة في الحالة السابقة إلا أنه في هذه الطريقة لا تحتاج إلى احتلال خط قاعدة أو الانتظار لمدة 5-10 دقائق للمستقبل (الهوائي) المتحرك عند بداية العمل وذلك لأن الهوائي الثابت يرسل عبر الموجة المحمولة **Code and Carrier Phase** معلومات مهمة إلى الهوائي المتحرك هذه المعلومات تعطي نفس نتائج الانتظار من 5 إلى 10 دقائق على النقطة دون الوقوف عليها فعلياً وهذه تحل الإشكال والتعتيم الموجي **resolve ambiguities** التي كانت تحل في الحالات السابقة عن طريق الانتظار والرصد لدقائق معدودة على نقطة البداية.

إن هذا الاختصار اليسير عن النظام ونظرياته وطرق رصده هو مدخل أولي تعريفي اشتمل على عموميات كبيرة تجاوزت الكثير من التفاصيل الدقيقة التي تهم الدارسين والمتخصصين في علوم هندسة المساحة. ولذلك ينصح بالرجوع لبعض الكتب والمراجع المتخصصة في هذه النظم لمن أراد التعمق والتفاصيل.

16-8- أنظمة المعلومات الجغرافية (ن.م.ج) Geographical Information Systems (GIS):

16-8-1 تعريفها وأنواعها:

أنظمة المعلومات الجغرافية ظهرت قديماً في شكلها اليدوي ولكنها لم تكن عملية نظراً لصعوبة التعامل الحسابي أو الرياضي معها. تقدمت بعد ذلك نظريات الرياضيات الجغرافية الفراغية المتمثلة في علم المواقع الفراغية أو "علم الموضعية" Topology والتي أسست حقيقة التعامل ولأول مرة مع الخرائط الرقمية في شكل رياضي علمي مكن من إجراء العمليات الحسابية المعتادة التقليدية من ضرب وقسمة وطرح وجمع وغيرها على الخرائط الرقمية. ثم زادت كفاءة هذه النظم مع تطور علوم الحاسب الآلي وعلوم المساحة الرقمية الجوية والأرضية مما سهل إعداد جميع أنواع الخرائط في هيئة رقمية (الخرائط الإلكترونية) صالحة للاستخدام في بيئات الحاسب الآلي المختلفة.

ومع ما يشهده هذا العصر من تقدم علمي ومعلوماتي إلاّ أن ن.م.ج لم تصل بعد إلى درجة عالية من التنظير رغم وصول تطبيقاتها إلى درجات فعالة ومتقدمة جداً. يُعزى عدم وصول ن.م.ج إلى الاستقرار النظري المناسب، إلى سببين رئيسيين هما: حداثة هذا العلم وسرعة المتغيرات في جوانبه التقنية وخاصة ما يتعلق منها بعلوم الحاسب الآلي وعلوم المساحة الرقمية، والتباين الشديد في مؤهلات وخلفيات المطبقين والمستخدمين لهذا العلم إذ يتفاوت من خلفيات وتخصصات أدبية إلى إنسانية إلى اقتصادية فطبية واجتماعية وإدارية وهندسية وغيرها.

لهذه الأسباب فإنه لا يوجد تعريف واحد وصل إلى درجة الإجماع لنظم المعلومات الجغرافية خلافاً لما حصل في العلوم الأخرى التي وصلت إلى استقرار نظري أكبر مثل ما نراه في علوم المساحة الجوية وعلوم الاستشعار من بعد. ومن ذلك فإن التعريفات الحالية لـ ن.م.ج تسير نحو الاستقرار حيث أن هناك إجماع على جزء كبير من خصائص ن.م.ج من قبل كل الفئات وأهم ما تجمع عليه هذه الفئات هو خاصية

القدرة التحليلية المكانية Spatial Analysis الفائقة التي تفتقر إليها الكثير من النظم التي تتعامل مع المعلومات المكانية مثل نظم الرسم المساعدة CAD Systems المختلفة.

ونورد هنا تعريفاً وصفياً لـ ن.م.ج يبين مجمل ما يجب أن يحتويه تعميمها في عصرنا الحالي:

"ن.م.ج توصف بأنها نظم تكاملية تجمع بين البرامج والأجهزة والكفاءة البشرية المؤهلة لدراسة ورصد وتخزين واستدعاء ومعالجة ونمذجة وتحليل وتحديث وعرض المعلومات المكانية بشقيها الوصفي والهندسي (المتري) ذات الارتباط بالشبكة الوطنية الجيوديسية أو المحلية أو العالمية المعروفة في نظم محاور الكرة الأرضية ثم استنتاج كل ما من شأنه دعم القرار وبدائله".

أنظمة المعلومات الجغرافية تنقسم إلى قسمين رئيسيين حسب نوع المعلومات التي تتعامل معها هذه النظم. القسم الأول هو أنظمة المعلومات الجغرافية النقطية أو الشبكية Raster GIS التي تتعامل مع وتبنى على أساس الصور الرقمية المنتجة مباشرة من وسائل الاستشعار من بعد أو من الصور الجوية التي حولت عن طريق الماسح الضوئي Scanners إلى صور رقمية. أما القسم الآخر من هذه النظم فهو نوع أسس ليتعامل مع النقاط والخطوط المتجهة ولذلك سميت بنظم المعلومات الخطية المتجهة Vector GIS. ويجب أن نأخذ في الاعتبار أن هذين النوعين بينهما تداخل أي أن نظم المعلومات النقطية يمكنها التعامل الثانوي مع الخطوط المتجهة وكذلك نظم المعلومات النقطية الخطية يمكنها التعامل الثانوي مع الصور (المعلومات النقطية أو الشبكية). ولكل من هذه النظم محاسنه ومواقع تطبيقه وميزاته وكذلك بعض مواطن القصور فيه.

16-8-2- المكونات الرئيسية لنظم المعلومات الجغرافية:

لنظم المعلومات الجغرافية مكونات أساسية. هذه المكونات أو المركبات تعطي صورة أشمل للقارئ عن ماهية هذه النظم. ويمكن إجمال مكونات ن.م.ج في خمسة

مكونات رئيسية كما يبرزها شكل (16-6).

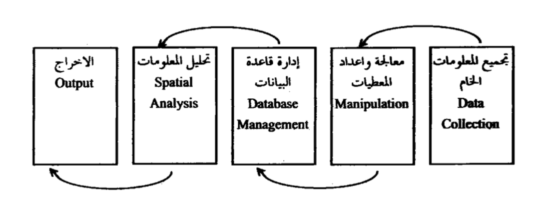
أول هذه المكونات يتمثل في تجميع المعلومات الخام Data collection. حيث يشمل كل العناصر الأساسية التي يمكن من خلالها جمع معلومات هذه النظم ومن ذلك وسائل الاسترقام اليدوي والآلي Manual & Automatic Digitization للخرائط وتحويلها من صيغ ورقية إلى رقمية تسهم في التكوين الهيكلي الرقمي الإلكتروني للخرائط.

وثاني هذه المكونات هو معالجة وإعداد المعطيات. حيث يتم في هذه الجزئية من النظام تحديد وتمييز العناصر الناطقة (المعبرة) للخرائط الإلكترونية وتشمل النقاط أو المفاصل (Nodes)، والخطوط (Line or Arcs)، والمضلعات أو للمساحات (Polygons) وذلك بما يتناسب مع هذه العناصر من إعدادات أساسية لمحاكاة الظواهر الجغرافية الحقيقية حسب ما يتطلبه التطبيق وتحليلاته، شكل (16-7).

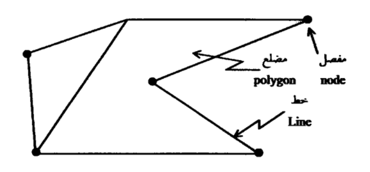
أما ثالث مكونات هذه النظم فمحوره إنشاء إدارة قاعدة البينات. هذا يعني ضمنياً الإنشاء المناسب للمعلومات المجدولة في قواعد المعلومات. هذه المعلومات في قاعدة البيانات تندرج تحت مسمى ملفات Files. والملف بلغة ميسرة يتكون من عنصرين أساسين هما (شكل 16-8):

1- السجلات Records: ويعبر عنها بصفر في جدول قاعدة المعلومات. هذا الصف يشمل معلومات متنوعة عن ظاهرة جغرافية محددة. وهكذا فكل صف يختص بظاهرة جغرافية واحدة ولكنه يحتوي كل المعلومات عن هذه الظاهرة.

2- الحقول Fields: ويعبر عنها بعمودٍ في جدول قاعدة المعلومات. هذا العمود يشمل معلومة واحدة فقط من حيث النوع ولكن هذه المعلومة تعبر عن كل الظواهر الجغرافية المحتواه في قاعدة المعلومات.



شكل 16–6 – مكونات نظم المعلومات الجغرافية



شكل 16 – 7 – العناصر المعبّرة (الناطقة) في الخرائط الالكترونية

المثال المرسوم أدناه أوقع في التعبير عن معاني الملفات وحقولها وسجلاتها في قواعد المعلومات الجغرافية. يبين المثال جزءاً تمثيلياً من ملف قاعدة معلومات ما.

عدد مساراته	عدد اشاراته	نوعه	طوله (كم)	عرضه (م)	اسم الطريق	رقم المسار
4	25	اسفلت	165	60	طريق ربيع	1
2	1	ترابي	70	40	طريق سعد	2
6	3	اسفلت	8	80	طريق عبدالله	3

حقول Fields
(أعمدة)

سجلات Records
(صفوف)

ملف File

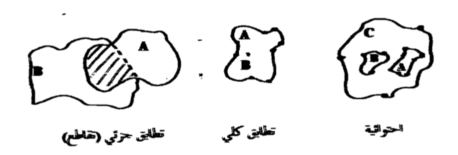
شكل 16 – 8 – محتوى قاعدة البيانات

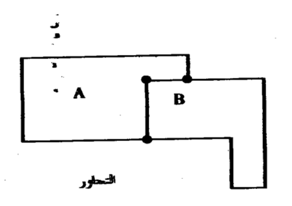
أما رابع مكونات ن.م.ج فهي المكونات التحليلية التي تستطيع أن تجيب على استفهامات المستخدم بكل ما من شأنه دعم قراراته وذلك وفقاً للشروط والمواصفات التي يمليها المستخدم على النظام. وفي هذا الشأن أمور كثيرة لا يتسع المجال لذكرها ولكن يمكن القول أن هناك عدداً كبيراً من العلاقات المكانية Topological Spatial Relationships التي تتميز بها هذه النظم مثل الاحتوائية Containment والتكافؤ الكلي أو الجزئي والتجاور أو التلاقي Adjacency والانفصال disjoint وكذلك علاقات التجاور المتجهة Contiguity والتي يمثل شكل (16-9) بعضاً من هذه العلاقات.

هذه العلاقات وغيرها هي مصدر العمليات المكانية المختلفة في ن.م.ج وهي السر الحقيقي للقوة الكامنة والقدرة الحقيقية التحليلية لأنظمة المعلومات الجغرافية التي يتم إجرائها على الطبقات الموضوعية Thematic Layers الرقمية التي تم تضمينها في النظام المعني أثناء تصميم نظام المعلومات الجغرافي، شكل (16-10).

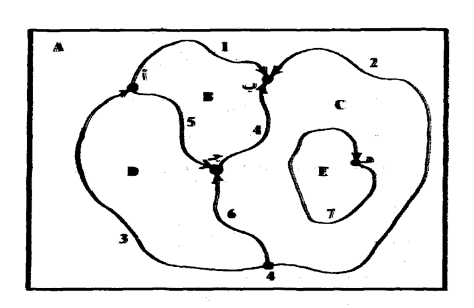
16-8-3- أنظمة المعلمات الجغرافية ومساحة المسارات:

مساحة المسارات تتميز عن غيرها من المساحات الأخرى بتدخل عناصر وعوامل متعددة تؤثر في اختيار المسار المناسب في مراحل التخطيط الأولية. ولذلك فعلى متخذ القرار أن يكون لديه قدرة فائقة على دراسة كل هذه العوامل والتوفيق بينها واستنباط عدد من الخيارات والبدائل بطريقة علمية ثم إصدار الحكم النهائي ومبرراته على اختيار المسار المناسب الذي يفي بالمتطلبات الهندسية والاجتماعية والاقتصادية والجمالية وغيرها من الاعتبارات المهمة. هذا التحليل وذلك التوفيق بين عناصر كثيرة وشديدة التباين يصعب التعامل معها يدوياً دون تدخل تقني آخر يساعد في ذلك.



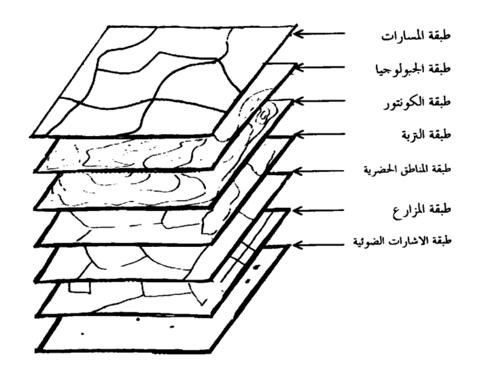


شكل (16-9-أ) – أمثلة لبعض العلاقات التطبيقية في نظم المعلومات الجغرافية



الخط	من مفصل	إلى مفصل	المضلع الأيمن	المضلع الأيسر
1	أ	ب	B	A
2	د	ب	A	C
3	د	أ	D	A
4	جـ	ب	C	B
5	أ	جـ	D	B
6	د	جـ	C	D
7	هـ	هـ	E	C

شكل (16-و-ب – مثال لعلاقات التجاور المتجهة خ.ن.م.ج



شكل (16–10)– مثال لبعض الطبقات المعلوماتية المتخصصة التي قد تحتويها ن.م.ج من أجل تحليل معلومات وخيارات المسارات.

أنظمة المعلومات الجغرافية هي من أفضل أنواع العلوم التقنية التي تساعد في اتخاذ القرار المناسب في مثل مشاريع المسارات. تمتاز هذه النظم بقدرة تحليلية فائقة يصاحبها توثيقاً إحصائياً وتخطيطياً يجمع بين المعلومات الهندسية الطبقية (الخرائط الموضوعية) وبين بياناتها الوصفية (الاجتماعية- الجيولوجية، الاقتصادية، الجمالية...).

ودور نظم المعلومات الجغرافية لا ينتهي بنهاية اختيار المسار ولكن يستمر دورها بعد ذلك في كل ما يتعلق بالمسار ومستقبله من صيانة وإدارة ومتابعة. بل إن هذه النظم قد تكون وسيلة مناسبة للدراسة وحصر ورصد المعلومات المتغيرة والمؤثرة على المسار مع مرور الوقت وذلك مثل أسباب انهيارات الطرق وعدم كفاءتها وغير ذلك كثير. أيضاً قد تستخدم هذه النظم للربط بين مواقع محددة على المسار وبين أسباب تكرار ظاهرة معينة كالحوادث أو الانهيارات من خلال رصد تلك الأحداث ورصد الأحوال الجوية والأمطار وحمولة الشاحنات ونوعية التربة والجيولوجيا وغيرها من المتغيرات التي قد تكون سبباً لتكرار الحوادث أو الانهيارات ومن ثم الادلاء والمساعدة في إيجاد مقترحات وحلول تسهم في رفع كفاءة الطريق وأدائه والتقليل من مخاطره وتكلفته. حيث أن مثل هذه المعلومات ورصدها وملاحظتها لمدة كافية من الزمن تؤدي إلى تحليل منطقي بين أسباب مشاكل المسارات.

ويمكن القول مثل ذلك عن تكرار الحوادث المرورية على المسارات والتي تمثل مشكلة كبرى في البلدان العربية. فبعد رصد تلك الحوادث لمدة كافية ورصد المتغيرات التي تحصل أثناء الحادث من سرعة وزمن ومعلومات اجتماعية عن السائق ومعلومات هندسية عن الطريق ومعلومات مرورية وغيرها يمكن دراسة وفحص هذه المعطيات عن طريق ن.م.ج ومن ثم تحديد المشكلة بدقة في بعديها الزمني والمكاني ثم الإدلاء بالحلول الاقتصادية الممكنة لحل المشكلة.

REFERENCES المراجع

1- Allen ,C. F .., Railroad Curves And Earthwork , McGraw – Hill Book Company , 1959 .

2- American Association of State Highway officials . " A policy on Geometric Design of Highways and Streets ", Washington , D.C., 1984 .

3- American Association of State Highway Officials . " A policy on Geometric Design of Rural High Ways " , American Association of State Highway officials , Washington , 1965 .

4- American Railway Engineering Association , " Manual for Railway Engineering " , Chicago, 1978 .

5- American Society of photogrammetry " Manual of photogrammetry" , 4th ed . , Chester C . Slama , Editor – in – Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1980 .

6- American Society of photogrammetry . " Manual of Remote Sensing " , Volumes I and II , 2nd ed ., Robert N . Colwel , Editor – in- Chief , American Society of photogrammetry , Falls Church , VA : 1983 .

7- Anderson , J.M ., And Edward M.M . , " Introduction to Surveying " , Singapore : McGraw – Hill Book Co . 1985 .

8- Ashford , N.J . , and paul H . Wright . " Airport Engineering", John Wiley and Sons , New York , 1979 .

9- Avery , Thomas Eugene . " Interpretation of Aerial photographs " , 3 rd ed . , Burgess Publishing Company , Minneapolis , Minnesota , 1977 .

10- Baker , R . F . , " Hand Book of Highway Engineering " Van Nostrand Reinhold Company , 1975 .

11- Barry , F.K . , " Surveying With Construction Applications ", Prentice Hall Inc . 1997 .

12- Bomford , G . , " Geodesy " , 4 th ed . , Clarendon Press , Oxford , 1980 .

13- Breed , Charles B . and Hosmer , G. L . ," Elementary Surveying " , Vol . 1, 11 th ed . , John Wiley and Sons , New York , 1977 .

14- Brinker , C.B . , Elfick , M.H . , Fryer , J.G , and Wolf , P.R . , " Elementary Surveying " , Seventh Edition , Melbourne , 1987 .

15- Brinker , R.C . , and Minnick , R . , " The Surveying Handbook " , Von Nostrand Reinhold Company , New York , 1987 .

16- Clark , D . , " Plane and Geodetic Surveying for Engineers , Volume 1 , Plane Surveying , 6 th ed . Constate , London , 1972

17- Davis , R.E [illegible] al , " Surveying , " Theory and practice " 7 th . ed . , McGraw – Hill Book Co . , Inc . , New York, 1997 .

18- Ewing , C. E . and Mitchell , M.M . , " Introduction to Geodesy " , 3 rd . Printing , Eisevier publishing Company , Inc . , New York , 1976 .

19- Garner , J . B . , James , D . and Bird , R . G . , " Surveying " The Estates Gazette Ltd . , London , 1976 .

20- Hickerson , T.F . , " Route Location and Design " , 5 th . ed . , Mc Graw – Hill Book Company , New York , 1967 .

21- Higgins , A.L . , " Elementary Surveying " , 3 rd . ed . , Longmans , London , 1971 .

22- Kennie , T.J.M . , and Petrie , G., " Engineering Surveying Technolgy " , Blackie , London , 1989 .

23- Kissam , P. , " Surveying Practice " , 3 rd ed . , Mc Graw-Hill Book Company , Inc . , New York , 1978 .

24- Mc Cormac , J.C ., " S urveying " , 3 rd ed . , Prentice Hall , Inc . , Englewood Cliffs , New Jersey , 1995 .

25- Meyer , C.F . , and D. W . , Gisbon , " Route Surveying and Design , 5 th ed . , Harper and Row , publishers , 1980 .

26- Mezera , David F . , " Geodetic Surveying : The Next Decade " , Journal of The Surveying and Mapping Division , American Society of Civil Engineers , Vol . 105 , SUI (November 1979) .

27- Mikhail , E.M. , and Gracie , G . , " Analysis and Adjustment of Survey Measurements , " Van Nostrand Reinhold , New York , 1981 .

28- Moffitt , Francis H., and Edward M . Mikhail . " Photogrammetry " , 3 rd ed . , Harper and Row Publishers , New York , 1980 .

29- Moffitt , F . H . and Harry Bouchard , " Surveying " , 7 th ed . Harper and Row , Publishers , Inc . , New York , 1982.

30- Oglesby , C . H . , and R . G . h ., " Highway Engineering " , 4 th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .

31- Paquette , R . J ., Norman J.A. and paul H.R. , " Transportation Engineering – Planning and Design , 2 nd ed ., John Wiley and Sons , New York , 1982 .

32- Royer , K ., " Applied Field Surveying " , John Wiley And Sons ., New York , 1979 .

33- Shmidt , M.O ., and Kam W . Wong , " Fundamentals of Surveying " , 3 rd ed ., PWS Publishers , 1985 .

34- Siyam , Y.M . , " Application of photogrammetry to Highway Design and Maintenance " , M.Sc . Thesis , LTC , The Netherland , 1974 .

35- Smith , J.R ., " Basic Geodesy " , Landmark Enterprises , Rancho Cordova , 1988 .

36- Szentesi , A., " Surveying Measurements " , Hungarian Optical Works , Buda pest , 1974 .

37- William Irvine . " Surveying For Construction " , 4 th . ed ., McGraw – Hill Book Company Europe , Berkshire , SL62QL , England , 1995 .

38- Wilson , R.J.P. , " Land Surveying , Macdonald and Evans Ltd ., London , 1971 .

39- Wirshing , J.R. , 4 Roy H ., " Introductory Surveying " , McGraw – Hill Book Company , 1985 .

40- wolf , Paul R., " Elements of photogrammetry " , McGraw – Hill Book Company , New York , 1986 .

41- Wood , K . " Highway Engineering Handbook " , McGraw – Hill , Inc ., 1960 .

42- Wright , P.H. , and Radnor J.P. , " Highway Engineering , 5 th . ed ., John Wiley and Sons , New York , 1987 .

43- Zuylen , L . and Oxtoby , P.J. , " Introduction to Field Survey Enschede , ITC , 1972 .

44- حسن بيلاني " الجيوديزيا " منشورات جامعة حلب ، كلية الهندسة المدنية ، جامعة حلب ، ١٩٩٦ .

45- سامح جزماتي " الأعمال المساحية في الطرق " ، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية ، جامعة حلب ، حلب ، ١٩٩٠ .

46- سميح صافية " مبادئ المساحة " ، منشورات جامعة دمشق ، دمشق ، ١٩٩٥

47- عبد الكريم توما " المساحة المستوية والطبوغرافية " ، جامعة بغداد ، بغداد ، ١٩٧٧ .

48- علي شكري ، محمود حسني ، ومحمد رشاد مصطفى " المساحة التصويرية " منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٨١ .

49- علي شكري ، ومحمود حسني " المساحة التصويرية " ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٧٨ .

50- يوسف مصطفى صيام " المساحة وتخطيط المنحنيات " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٧٨م .

51- يوسف مصطفى صيام " أصول في المساحة " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٨٣م .

52- يوسف مصطفى صيام " مساحة المسارات " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٢م .

53- يوسف مصطفى صيام " المساحة الجوية " ، مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٤م .

54- يوسف مصطفى صيام " المساحة بالأجهزة الإلكترونية " مكتبة العروبة ، عمان ، ١٩٩٧م .

REFERENCES المراجع

1- Allen ,C. F .., Railroad Curves And Earthwork, McGraw – Hill Book Company, 1959.

2- American Association of State Highway officials . " A policy on Geometric Design of Highways and Streets ", Washington, D.C., 1984.

3- American Association of State Highway Officials . " A pclicy on Geometric Design of Rural High Ways " , American Association of State Highway officials, Washington, 1965.

4- American Railway Engineering Association , " Manual for Railway Engineering ", Chicago, 1978.

5- American Society of photogrammetry " Manual of photogrammetry" , 4th ed ., Chester C . Slama, Editor – in – Chief, American Society of photogrammetry, Falls Church, VA : 1980.

6- American Society of photogrammetry . " Manual of Remote Sensing " , Volumes I and II, 2 nd ed ., Robert N . Colwel, Editor – in- Chief , American Society of photogrammetry, Falls Church, VA : 1983.

7- Anderson , J.M ., And Edward M.M . , " Introduction to Surveying ", Singapore : McGraw – Hill Book Co . 1985.

8- Ashford, N.J ., and paul H . Wright . " Airport Engineering", John Wiley and Sons, New York, 1979.

9- Avery , Thomas Eugene . " Interpretation of Aerial photographs " , 3 rd ed ., Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota, 1977.

10- Baker , R . F . , " Hand Book of Highway Engineering "
Van Nostrand Reinhold Company , 1975 .

11- Barry , F.K . , " Surveying With Construction Applications
", Prentice Hall Inc . 1997 .

12- Bomford , G . , " Geodesy " , 4 th ed . , Clarendon Press ,
Oxford , 1980 .

13- Breed , Charles B . and Hosmer , G. L . ," Elementary
Surveying " , Vol . 1, 11 th ed . , John Wiley and Sons ,
New York , 1977 .

14- Brinker , C.B. , Elfick , M.H. , Fryer , J.G , and Wolf , P.R. ,
" Elementary Surveying " , Seventh Edition , Melbourne ,
1987 .

15- Brinker , R.C . , and Minnick , R . , " The Surveying
Handbook " , Von Nostrand Reinhold Company , New
York , 1987 .

16- Clark , D. , " Plane and Geodetic Surveying for Engineers ,
Volume 1 , Plane Surveying , 6 th ed . Constate , London ,
1972

17- Davis , R.E . et . al , " Surveying , " Theory and practice "
7 th . ed . , McGraw – Hill Book Co . , Inc. , New York,
1997 .

18- Ewing , C. E . and Mitchell , M.M ., " Introduction to
Geodesy " , 3 rd . Printing , Eisevier publishing Company ,
Inc ., New York , 1976 .

19- Garner , J . B . , James , D . and Bird , R . G . , " Surveying "
The Estates Gazette Ltd . , London , 1976 .

20- Hickerson , T.F . , " Route Location and Design " , 5 th . ed
. , Mc Graw – Hill Book Company , New York , 1967 .

21- Higgins , A.L . , " Elementary Surveying " , 3 rd . ed . , Longmans , London , 1971 .

22- Kennie , T.J.M . , and Petrie , G. , " Engineering Surveying Technolgy " , Blackie , London , 1989 .

23- Kissam , P. , " Surveying Practice " , 3 rd ed . , Mc Graw-Hill Book Company , Inc . , New York , 1978 .

24- Mc Cormac , J.C . , " S urveying " , 3 rd ed . , Prentice Hall , Inc . , Englewood Cliffs , New Jersey , 1995 .

25- Meyer , C.F . , and D. W . , Gisbon , " Route Surveying and Design , 5 th ed . , Harper and Row , publishers , 1980 .

26- Mezera , David F . , " Geodetic Surveying : The Next Decade " , Journal of The Surveying and Mapping Division , American Society of Civil Engineers , Vol . 105 , SUI (November 1979) .

27- Mikhail , E.M . , and Gracie , G . , " Analysis and Adjustment of Survey Measurements , " Van Nostrand Reinhold , New York , 1981 .

28- Moffitt , Francis H. , and Edward M . Mikhail . " Photogrammetry " , 3 rd ed . , Harper and Row Publishers , New York , 1980 .

29- Moffitt , F . H . and Harry Bouchard , " Surveying " , 7 th ed . Harper and Row , Publishers , Inc . , New York , 1982.

30- Oglesby , C . H . , and R . G . h . , " Highway Engineering " , 4 th . ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .

31- Paquette , R . J . , Norman J.A. and paul H.R. , " Transportation Engineering – Planning and Design , 2 nd ed . , John Wiley and Sons , New York , 1982 .
32- Royer , K . , " Applied Field Surveying " , John Wiley And Sons . , New York , 1979 .

33- Shmidt , M.O ., and Kam W . Wong , " Fundamentals of Surveying " , 3 rd ed . , PWS Publishers , 1985 .

34- Siyam , Y.M . , " Application of photogrammetry to Highway Design and Maintenance " , M.Sc . Thesis , LTC , The Netherland , 1974 .

35- Smith , J.R . , " Basic Geodesy " , Landmark Enterprises , Rancho Cordova , 1988 .

36- Szentesi , A., " Surveying Measurements " , Hungarian Optical Works , Buda pest , 1974 .

37- William Irvine . " Surveying For Construction " , 4 th . ed . , McGraw – Hill Book Company Europe , Berkshire , SL62QL , England , 1995 .

38- Wilson , R.J.P. , " Land Surveying , Macdonald and Evans Ltd . , London , 1971 .

39- Wirshing , J.R. , 4 Roy H . , " Introductory Surveying " , McGraw – Hill Book Company , 1985 .

40- wolf , Paul R., " Elements of photogrammetry " , McGraw – Hill Book Company , New York , 1986 .

41- Wood , K . " Highway Engineering Handbook " , McGraw – Hill , Inc . , 1960 .

42- Wright , P.H. , and Radnor J.P. , " Highway Engineering , 5 th . ed ., John Wiley and Sons , New York , 1987 .

43- Zuylen , L . and Oxtoby , P.J. , " Introduction to Field Survey Enschede , ITC , 1972 .

44- حسن بيلاني " الجيوديزيا " منشورات جامعة حلب ، كلية الهندسة المدنيـــة ، جامعة حلب ، ١٩٩٦ .

45- سامح جزماتي " الأعمال المساحية في الطرق " ، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعة ، جامعة حلب ، حلب ، ١٩٩٠ .

46- سميح صافية " مبادئ المساحة " ، منشورات جامعة دمشق ، دمشق ، ١٩٩٥

47- عبد الكريم توما " المساحة المستوية والطبوغرافية " ، جامعة بغداد ، بغداد ، ١٩٧٧ .

48- علي شكري ، محمود حسني ، ومحمد رشاد مصطفى " المساحة التصويرية" منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٨١ .

49- علي شكري ، ومحمود حسني " المساحة التصويرية " ، منشأة المعـــارف ، الإسكندرية ، ١٩٧٨ .

50- يوسف مصطفى صيام " المساحة وتخطيط المنحنيات " ، مكتبـــة العروبـــة ، عمّان ، ١٩٧٨م .

51- يوسف مصطفى صيام " أصول في المساحة " ، مكتبة العروبـــة ، عمّـــان ، ١٩٨٣م

52- يوسف مصطفى صيام " مساحة المسارات " ، مكتبـــة العروبـــة ، عمّـــان ، ١٩٩٢م .

53- يوسف مصطفى صيام " المساحة الجويـــة " ، مكتبـــة العروبـــة ، عمّـــان ، ١٩٩٤م .

54- يوسف مصطفى صيام " المساحة بالأجهزة الإلكترونية " مكتبـــة العروبـــة ، عمّان ، ١٩٩٧م .



Dar Majdalawi Pub. & Dis.
Amman 11118 - Jordan
P.O.Box: 184257
Tel Fax: 4611606



دار مجدلاوي للنشر والتوزيع
عمّان - الرمز البريدي: ١١١١٨ - الأردن
ص.ب.: ١٨٤٢٥٧ - تلفاكس: ٤٦١١٦٠٦

ISBN 9957-02-027-7